

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Hodnocení porušenosti horninového masivu pomocí RQD
v podmínkách čs. části hornoslezské uhelné pánve
Rock mass quality evaluation due to RQD in conditions of the Czech
part of the Upper Silesian Coal Basin

Student: Bc. Jan Řehák
Vedoucí diplomové práce interní Ing. Martin Stolárik, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Řehák**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T035 Geotechnika

Téma: Hodnocení porušenosti horninového masivu pomocí RQD v podmínkách
čs. části hornoslezské uhelné pánve
Rock Mass Quality Evaluation due to RQD in Conditions of the Czech
Part of the Upper Silesian Coal Basin

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky
2. Přírodní, geomechanické podmínky ČHP
3. Regionální prognóza vzniku otřesů
4. Analýza vybraných vrtů
 - a. Horninové typy
 - b. Geomechanické vlastnosti hornin
 - c. Porušenost hornin (kusovitost, RQD)
5. Analýza závislosti kusovitosti a parametru RQD
6. Závěry

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Dopita, M. et al. *Geologie české části hornoslezské pánve*, Praha, Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1997. ISBN 80-7212-011-5
2. OKD, DPB, a. s. *Metodický postup – regionální prognóza vzniku otřesů na dolech OKR*, 2005
3. Deere, D.U. Rock quality designation (RQD) after twenty years, *U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1*, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (67).
4. Deere, D.U. and Deere, D.W. The RQD index in practice, *Proc. Symp. Rock Class. Engineering Purposes*, ASTM Special Technical Publications 984, Philadelphia, (91-101), 1988.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace:

Práce stručně popisuje geologii zájmové oblasti, horninové typy a jejich geofyzikální vlastnosti a základní fakta spojená s dobýváním uhlí v ostravsko-karvinském revíru. Dále je v práci popsán výpočet redukované pevnosti a stanovení průměrné redukované pevnosti efektivního nadloží sloje. Práce porovnává výpočty a výsledky redukovaných pevností pomocí dvou koeficientů: k_{op} a RQD. V závěru práce jsou shrnuty poznatky, které vyplynuly z tohoto srovnání.

Klíčová slova:

Hornoslezská uhelná pánev, ostravské souvrství, pevnost, redukovaná pevnost, kusovitost, RQD.

Annotation:

This diploma thesis briefly describes the geology of the area of interest, rock types and their geomechanical properties and the basic facts associated with coal mining in the Ostrava-Karvina district. The thesis also describes the calculation of the reduced strength, and determines the average reduced strength of effective overburden seam. Thesis compares the results of calculations and reduced strength using two parameters: k_{op} and RQD. The conclusion summarizes the findings that resulted from this comparison.

Key words:

Upper Silesian Coal Basin, Ostrava Formation, strength, reduced strength, lumpiness, RQD.

Obsah diplomové práce:

| | |
|---|----|
| Obsah diplomové práce: | 6 |
| Seznam použitého značení | 7 |
| 1. Úvod do problematiky | 9 |
| 2. Přírodní, geomechanické podmínky ČHP | 10 |
| 2.1. Ostravské souvrství | 12 |
| 2.1.1. Porubské vrstvy | 15 |
| 2.1.2. Litologie porubských vrstev | 18 |
| 3. Regionální prognóza vzniku otřesů | 20 |
| 4. Analýza vybraných vrtů | 21 |
| 4.1. Horninové typy | 26 |
| 4.2. Geomechanické vlastnosti hornin | 28 |
| 4.3. Porušenost hornin (kusovitost, RQD) | 29 |
| 4.4. Výpočet redukované pevnosti dle kusovitosti | 29 |
| 4.5. Výpočet koeficientu RQD | 35 |
| 5. Analýza závislosti koeficientů kusovitosti a RQD | 38 |
| 6. Závěr | 48 |
| 7. Seznam použité literatury | 50 |
| 8. Seznam obrázků | 51 |
| 9. Seznam tabulek | 52 |
| 10. Seznam rovnic | 53 |

Seznam použitého značení

| | |
|-------------------------|---|
| a.s. | - akciová společnost |
| ČHP | - česká část hornoslezské uhelné pánve |
| ČSM | - důl ČSM (v minulosti zněl název Důl Československého svazu mládeže) |
| D | - destičky |
| e | - základ přirozeného logaritmu |
| ef. | - efektivní |
| fi. | - $-\log_2 d$, kde d je průměr částice |
| $h_{ef. \text{ nadl.}}$ | - mocnost (výška) efektivního nadloží [m] |
| $h_{ef. \text{ podl.}}$ | - mocnost (výška) efektivního podloží [m] |
| h_i | - mocnost polohy stejné redukované pevnosti [m] |
| k_c | - koeficient celistvosti |
| k_{na} | - koeficient nakypření hornin v závalovém polštáři |
| k_{op} | - koeficient snížení pevnosti vlivem oslabení masivu |
| l | - délka zkoumané oblasti [cm] |
| $l_{<10}$ | - úlomek vrtného jádra delší 10 cm |
| lat. | - názvosloví odvozené z latiny |
| l_n | - normová délka |
| l_{ni} | - průměrná délka úlomků jádra [cm] |
| l_p | - mocnost vymezené polohy o stejné kategorii kusovitosti [m] |
| MS | - Microsoft |
| Obr. | - obrázek |
| OKD | - Ostravsko-karvinské doly |
| OKR | - ostravsko-karvinský revír |
| p | - počet úlomků jádra ve vymezené poloze |
| PDF | - Portable Document Format |
| p-p | - pravděpodobnostní |
| R | - drť |
| r^2 | - korelační koeficient |
| RQD | - Rock quality designation |
| řec. | - názvosloví odvozené z řečtiny |
| sk. f. h. | - skupina faunistických horizontů |

| | |
|--------------------|--|
| Tab. | - tabulka |
| tzv. | - takzvaně |
| U | - uhlí |
| U_A^{10} | - absolutní uhlonosnost |
| U_L^{40} | - ložisková uhlonosnost |
| w_s | - mocnost sloje [m] |
| Z | - ztráta jádra |
| σ_D | - průměrná pevnost polohy v prostém tlaku |
| $\sigma_{Dred. i}$ | - redukovaná pevnost v jednotlivých polohách [Mpa] |
| $\sigma_{Dred.}$ | - redukovaná pevnost petrografické polohy |

1. Úvod do problematiky

Pro bezpečnou, ekonomicky výhodnou a technicky zvládnutelnou realizaci stavby pod zemským povrchem je nutné znát bezprostřední horninové okolí, ve kterém se tato stavba nachází. Toto horninové okolí je možno popsat celou řadou klasifikačních metod. Klasifikaci horninového masívu lze provést třemi základními přístupy, mezi které patří klasifikace popisné, číselné a indexové.

Popisné klasifikace masívu dělí horninu zpravidla podle jejího projevu v okolí výrubu bez bližšího určení jejich fyzikálně-mechanických vlastností. Číselné klasifikace popisují chování hornin pomocí jednoho ukazatele závislého na zkoumané vlastnosti horniny. Indexové klasifikace hodnotí masív podle řady parametrů.

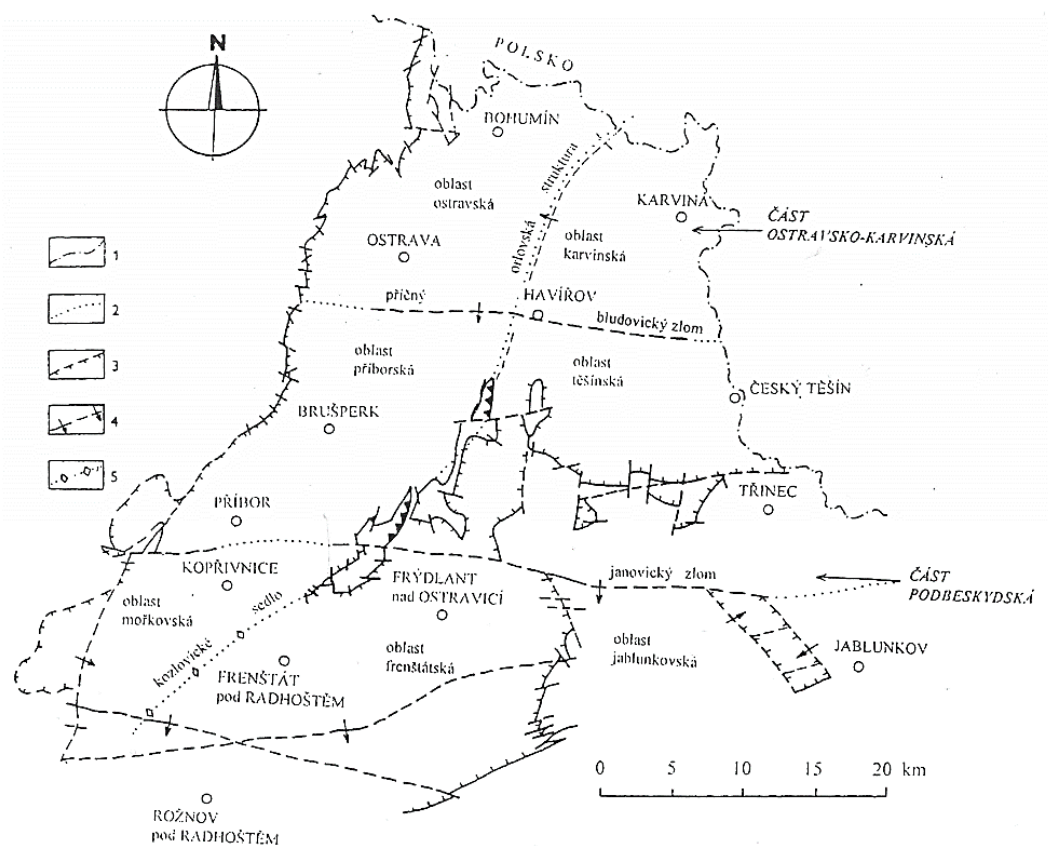
Pro základní posouzení fyzikálních vlastností horninového masívu se v podmínkách ostravsko-karvinského revíru (dále jen OKR) používá hodnocení na základě redukované pevnosti v prostém tlaku. Tato redukovaná pevnost se vypočítá z pevnosti v prostém tlaku ve směru kolmém na vrstevnatost za použití opravného koeficientu, který zohledňuje vliv oslabení masívu plochami nespojitosti. Redukovaná pevnost se vypočte pro každou petrografickou polohu, která je určena stejnou kategorií kusovitosti. Výsledná redukovaná pevnost v nadloží nebo podloží sloje, je vyjádřena jako vážený průměr jednotlivých petrografických poloh.

Cílem této práce je porovnat výpočet redukované pevnosti horninového masívu v efektivním nadloží sloje č. 463 Natan dle indexu RQD a kusovitosti na geologicko-průzkumných jádrových vrtech, a následná analýza vypočtených redukovaných pevností.

2. Přírodní, geomechanické podmínky ČHP

Hornoslezská černouhelná pánev se rozkládá na ploše přes 7000 km², z čehož asi 1550 km² zaujímá plocha uhlonosného karbonu na území České republiky. Česká část hornoslezské pánve (dále jen ČHP) se dále dělí na pánev ostravsko-karvinskou, vymezenou státními hranicemi s Polskem a osou bludovického výmolu, a pánev podbeskydskou (Obr. 1). Z hlediska hospodářského pojetí se celá ČHP označuje, jako OKR. Pod tímto názvem bývá uváděna v hornické i geologické literatuře. Od začátku hornické činnosti byly uhelné sloje označovány na různých dolech různými jmény nebo čísly, mnoho z nich se jako místní označení používají dodnes. Počítačové zpracovávání geologických i báňsko-technických informací o uhelných slojích si vyžádalo ucelené označování uhelných slojí v celorevírním měřítku. V roce 1959 bylo M. Dopitou (1997) zavedeno použití třímístného číselného kódu, v němž první číslice označuje příslušnou litostratigrafickou jednotku v řazení od stratigraficky nejstarších (petřkovické vrstvy: 001 až 099) k nejmladším (vyšší doubravské vrstvy: 900 až 984). [1], [2]

Hornoslezská pánev je jednou z nejvýznamnějších evropských černouhelných pánví. Ohraničení není dosud jednoznačně známé, neboť její sedimenty jsou zpravidla překryty mladšími uloženinami, na povrch vystupují jen v malých výchozech a z převážné většiny jsou známy jen z hlubokých průzkumných nebo strukturních vrtů a důlních děl. [2]



Obrázek 1: Územní členění ČHP [2]

Hornoslezská pánev se řadí mezi naše nejvýznamnější černouhelné pánve. Z historického hlediska je zajímavá především faktem, že zde uhlí využíval již pleistocenní člověk gravettské kultury v poslední době ledové asi před 23 000 lety. O tom svědčí archeologický výzkum na vrchu Landeku v Ostravě Petřkovicích, kde karbonický horninový masiv vychází na povrch. První písemné zprávy o dobývání uhlí v oblasti pocházejí z roku 1782. [3]

2.1. Ostravské souvrství

Sedimentace paralické uhlonosné molasy ostravského souvrství končí vývoj spodního karbonu v ČHP. Ostravské souvrství náleží spodnímu namuru a je tvořeno sedimenty střídavého mořského a kontinentálního režimu usazenými po sudetské fázi variského vrásnění (Obr. 2). Stáří souvrství je doloženo četnými faunistickými výskyty. V souvrství jsou doloženy výskyty mlžů, plžů, ramenonožců, hlavonožců a trilobitů. Maximální mocnost tohoto souvrství činí až 3200 m a je členěno na čtyři litostratigrafické jednotky – vrstvy petřkovické, hrušovské (spodní a svrchní), jaklovecké a porubské. Ostravské souvrství je z hlediska proměnlivého výskytů facií zřejmě nejpestřejší jednotkou českého masivu. Mořské, přechodové (brakické) a kontinentální facie se cyklicky opakují. U kontinentálních facií lze sledovat ovlivnění tektonickými procesy, klimatickými výkyvy, vulkanickou činností a úkazy vzniklé změnami úrovně mořské hladiny. Cykličnost je charakteristickým znakem a základní cykly jsou tvořeny opakováním sledu: hrubozrnný bazální pískovec – prachovec – uhelná sloj – jílovec. Ve vyšších vrstvách jsou v prachovcích patrné zbytky kořenů uhlotvorných rostlin tzv. kořenové půdy. Jílovce obsahují sladkovodní, brakickou a mořskou faunu. Tyto cykly odrážejí proběhlé změny od říčních a jezerních prostředí přes organogenní sedimenty rašelinišť a bažin k lagunárním a ořským uloženinám mělkých zálivů a přílivových plošin. Cykly nebývají zachovány celé, horní část bývá eliminována následkem nástupu dalšího cyklu. [3]

Mořské záplavy se dostavovaly obecně ze SSV se směrem dále k JJZ. Do jižní části zasáhly pouze čtyři ingrese. Ty jsou reprezentovány tzv. „mořskými patry“ pojmenovanými Štúra, Enny, Barbora a Gaeblera. Tyto patra jsou stratigraficky velmi důležitá, neboť ve zvrásněném sledu umožňují identifikaci uhelných slojí a dělí ostravské souvrství na vrstvy petřkovické, hrušovské, jaklovecké a porubské (Obr. 3). [3]

Období tektonického klidu představují vrstvy uhelných slojí. Dna pánví zarůstala rašeliništi s uhlotvornou vegetací, převážně plavuněmi a přesličkami. Ostravské souvrství obsahuje velké množství uhelných slojí. Záznamy o jejich počtu se liší napříč publikacemi. Celkem je v OKR evidováno kolem 415 uhelných slojí, samostatných lávek a slojek. Z nich lze 141 označit jako průběžně nebo místně dobyvatelné. Z celkového počtu slojí přísluší 86 ostravskému souvrství a 55 souvrství karvinskému. Kvalita uhlí je v zásadě vysoká a v petřkovických vrstvách lze zastihnout i antracitické uhlí. Značná část těchto uhelných zásob je koksovatelná. [1], [3]

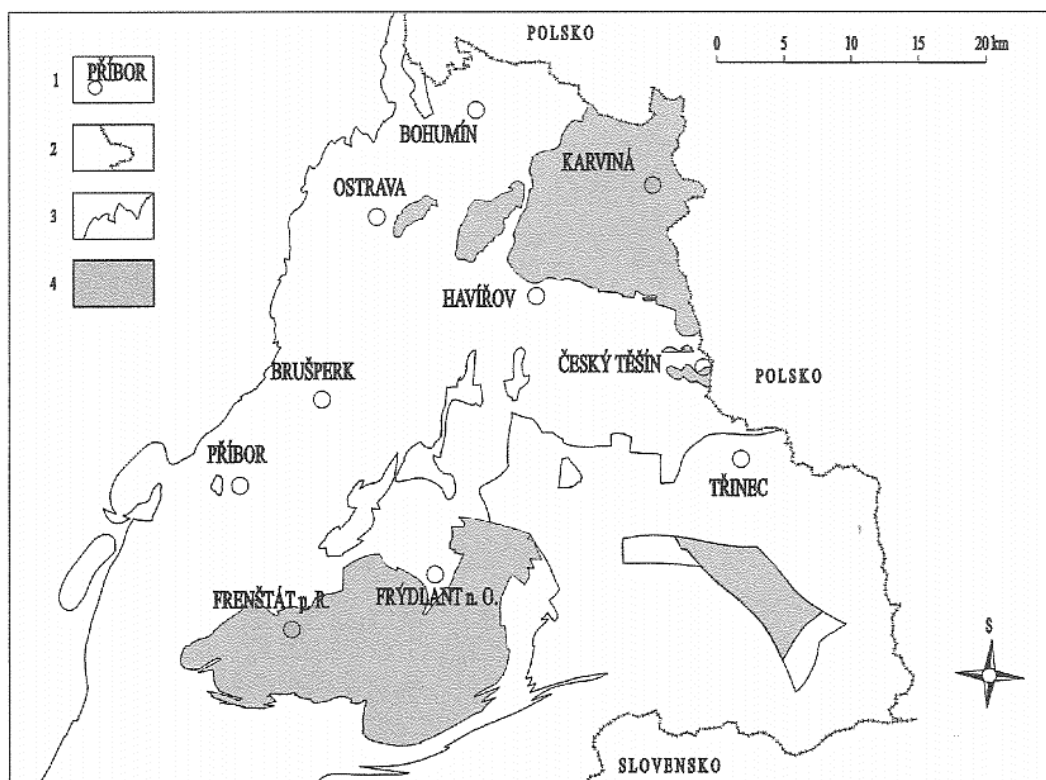
| PENNSYLVAN | | | STEPHAN | | Česká republika | | | | Polská republika | | | |
|------------|--|--------|----------------|-----------------------------------|------------------------------|--|--------------------|--|--|--|----------------------------------|--|
| WESTPHAL | | | D | | | | | | západní část | | východní část | |
| duckmant | | bolsov | | KRAKOWSKA SERIA PIASKOWCOWA | | | | | ARKOZA KWACZALSKA | | | |
| langsett | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| NAMUR | | | G | | SOUVRSTVÍ KARVINSKÉ | | VRSTVY DOUBRAVSKÉ | | vyšší doubravské | | sloj 962 sloj 901 | |
| | | | R | | spodní | | VRSTVY SUŠSKÉ | | svrchní spodní sl. f. h. Huberta | | sloj 876 sloj 804 sloj 747 | |
| | | | H | | | | VRSTVY SEDLOVÉ | | | | sloj 703 sloj 686 | |
| | | | | | | | (Prokop) sloj 504 | | | | sloj 605 sloj 564 | |
| MISSISSIPP | | | H | | HIÁT | | VRSTVY PORUBSKÉ | | sk. f. h. Gaeblera (XXVII) | | sloj 499 | |
| | | | E ₂ | | svrchní | | VRSTVY JAKLOVECKÉ | | sk. f. h. Barbory (XXI) | | sloj 403 sloj 385 | |
| | | | E ₁ | | spodní | | VRSTVY HRUŠOVSKÉ | | svrchní spodní sk. f. h. Františky (XII) | | sloj 301 sloj 255 | |
| | | | | | | | VRSTVY PETŘKOVICKÉ | | | | sloj 102 sloj 099 | |
| VISÉ | | | G | | SOUVRSTVÍ HRADECKO-KYJOVICKÉ | | VRSTVY KYJOVICKÉ | | sk. f. h. Štúra | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

| | litostratigrafické jednotky | | význačné uhelné sloje a horizonty | |
|----------|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------|
| stephan | | arkóza kwaczalská | | |
| westphal | | w . libiaskie | | |
| | | w . laziskie | | |
| | | w . orzeskie | | |
| | | jen na polském území | | |
| namur | souvrství karvinské | vrstvy doubravské | sloj 962 | |
| | | | sloj 804 | |
| | | | sloj 747 | |
| | | vrstvy sušské | | ← Hubert |
| | souvrství ostravské | vrstvy sedlové | sloj 605 | |
| | | | sloj 504 | ← Prokop |
| | | | sloj 499 | ← Gaebler |
| | | vrstvy porubské | | |
| | | | sloj 403 | |
| | | vrstvy jaklovecké | sloj 385 | ← Barbora |
| | | | sloj 301 | |
| | | | sloj 255 | ← Enna |
| | | vrstvy hrušovské | | ← Františka |
| visé | hradecko kyjovické souvrství | | sloj 102 | |
| | | | sloj 099 | ← Nanetta |
| | | vrstvy petřkovické | sloj 009 | ← Štúr |
| | | vrstvy kyjovické | | |

Obrázek 3: Stratigrafické schéma karbonu hornoslezské pánve [3]

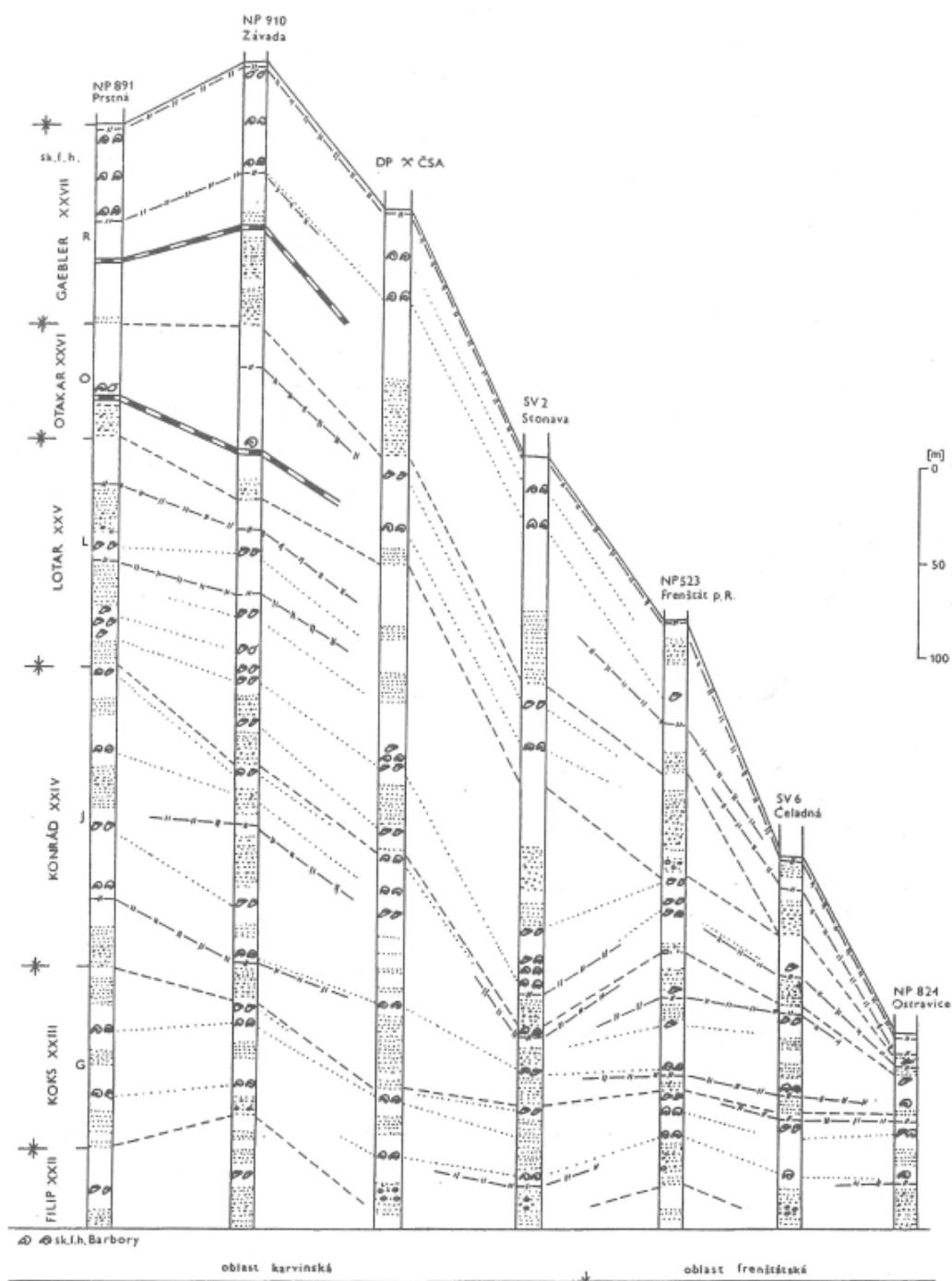
2.1.1. Porubské vrstvy

Zkoumané okolí sloje č. 463 Natan se nachází v pásmu ostravského souvrství, konkrétně pak v porubských vrstvách, ohraničených zespod svrchní vrstevní plochou nejvyššího horizontu ze sk. f. h. Barbory a shora počvou sloje č. 504 Prokop (Obr. 3). Porubské vrstvy tvoří svrchní část ostravského souvrství. Porubské vrstvy byly jako nejvyšší jednotka ostravského souvrství nejvíce zasaženy denudací. Jsou zachovány pouze jako denudační zbytky ostravské a petřvaldské prohlubně o mocnosti maximálně 240 m. V příborské oblasti se tyto vrstvy vyskytují pouze na malé ploše jako denudační zbytky (Obr. 4). Ve východní části mořkovské oblasti se vyskytují pouze v neúplné mocnosti. Ve frenštátské oblasti se nacházejí porubské vrstvy v plné mocnosti až 365 m (Obr. 5). V úplné mocnosti lze porubské vrstvy zastihnout dále také v karvinské oblasti v orlovské struktuře a na svazích bludovického výmolu. Východně od orlovské struktury se porubské vrstvy ponořují pod karvinské souvrství. Na dnešní povrch vystupují jen v menších výchozech v Ostravě a Orlové. Na Karvinsku jsou porubské vrstvy až 720 m mocné, západním směrem od orlovské struktury je zachováno pouze jejich torzo stejně jako u většiny předchozích jednotek. Směrem k jihu a východu se jejich mocnost snižuje až na polovinu. Z porubských vrstev je známo až 35 faunistických horizontů, z nich 20 obsahuje mořskou nebo lingulovou faunu. Tyto horizonty byly uspořádány do šesti skupin označených čísly XXII - XXVII. [2]



Obrázek 4: Výskyt porubských vrstev v ČHP [1]

1 - sídla, 2 - státní hranice, 3 - hranice ČHP, 4 - oblast výskytu porubských vrstev



Obrázek 5: Vývoj porubských vrstev v karvinské a frenštátské oblasti [2]

Uhlonosnost porubských vrstev je v porovnání s podloží litostratigrafickou jednotkou jakloveckých vrstev nižší. Pro posouzení uhlonosnosti zavedl Ševčík v roce 1989 dvě kritéria (Tab. 1). Ložisková uhlonosnost zahrnuje všechny evidované sloje o mocnosti větší než 40 cm, absolutní uhlonosnost počítá i se sloji o minimální mocnosti 10 cm. Uhlonosnost je vyjádřena jako podíl součtu mocností uhelných slojí k součtu mocností jalových vrstev. [1]

Tabulka 1: Uhlonosnost porubských vrstev [1]

| Uhlonosnost porubských vrstev | |
|--------------------------------------|-------|
| ložisková (U_L^{40}) | 1,80% |
| absolutní (U_A^{10}) | 2,21% |

2.1.2. Litologie porubských vrstev

Ostravské souvrství je tvořeno takřka výhradně klastickými sedimenty, zejména slepenci a pískovci se slepencovou podpůrnou kostrou, pískovci, prachovci až jílovci, uhlím a kyselými vulkanickými popely. Litologie porubských vrstev má jisté zvláštnosti. Pískovce, prachovce a jílovce můžeme srovnat s horninami z cyklů svrchních hrušovských vrstev. Základní cykly jsou tvořeny karbonatiko-jílovitými a arkózovitými pískovci a vrstevnatými prachovci. Stropy slojí jsou tvořeny měkkými světlými jílovci prostoupenými slojotvornou květenou. Zvláštní význam má bělavý pískovec až křemenec v podloží sloje 504 Prokop. [2]

Porubskými vrstvami prostupuje významná poloha zámeckého slepence pojmenovaného podle slezskoostravském zámku. Dále již slepence v porubských vrstvách nacházíme ojediněle ve formě několika cm až dm mocných čočkovitých tělesech doprovázenými hrubozrnnými pískovci. V ostravské oblasti se například vyskytuje v základním cyklu sloje 463 Natan. Pískovce jsou v porubských vrstvách zastoupeny různými typy, nejčastěji se zde vyskytují přechodové typy mezi drobovými pískovci a drobami s vysokým obsahem jílovité hmoty. Prachovce a jílovce jsou tvořeny jílovou hmotou, lištami slíd, živci a křemenem. Opakující se vrstevní sled přechází z podložní litostatigrafické jednotky dále bez významnějších změn. Jako odlišnost lze považovat častější výskyt mořských facií ve spodních dvou třetinách jednotky. Tyto facie dokládají četnost krátkodobých mořských ingresí, při kterých byly zaplaveny přímořské oblasti o nepravidelných plošných rozsazích. V horní části porubských vrstev se v základních cyklech častěji objevuje vyvinutý bazální člen zastoupený různorodými pískovci s nepravidelnými vložkami slepenců s podpůrnou písčitou kostrou. [2]

Počty základních cyklů se v plošném rozsahu výrazně mění. V karvinské oblasti bylo zjištěno pomocí vrtů místy 31 až 39 cyklů, v oblasti frenštátské je mocnost porubských vrstev redukována a bylo zde zastiženo 24 až 34 cyklů o menších mocnostech. [2]

V porubských vrstvách se nachází několik důležitých slojí. Sloj 403 (Filip) je nejhlouběji uloženou bilanční slojí porubských vrstev. Pravidelný vývoj měla sloj v ostravské oblasti s maximální mocností až 1,5 m, dnes je již vyrubána. V karvinské oblasti je tato sloj dobyvatelná pouze místně. [2]

Sloj 409 (Gustav) je další nejstálejší slojí a lze ji zastihnout 10 - 25 m nad slojí předešlou. S výjimkou východní části frenštátské oblasti byla sloj identifikována na celé ploše výskytu porubských vrstev. Její největší mocnost byla v ostravské oblasti až 2 m, východním směrem mocnost klesá a na Karvinsku je již z větší části nedobyvatelná. [2]

Mezi nejstálejší sloj porubských vrstev se řadí sloj 420 (Sek). Její mocnost bilancuje v rozsahu 0,7 – 1,2 m a v nadloží se vyskytují masivní jílovcové vrstvy s mořskou faunou spadající do sk. f. h. XXIII. [2]

Geologicky stálá většinou však nebilanční je sloj 430 („O“, Jindřich) - jen místy její mocnost přesahuje 0,6 m. Její strop je obvykle tvořen jílovci ze sk. f. h. XXIV. [2]

Sloj 463 (Natan) se místy spojuje se slojí 461 (Max). Spojená mocnost těchto slojí dosahuje až 3,76 metrů. V místech, kde jsou sloje uloženy samostatně, je dělí proplástek tvořený zpravidla jílovci případně prachovci. V nadloží se vyskytují prachovce o mocnosti až 4,8 m, podloží je tvořeno většinou prachovci.

Nejvýše položenou, z dobývaných slojí porubských vrstev o mocnosti až 1,4 m, je sloj 485 (Otakar). Dobyvatelná je pouze v okolí Petřvaldu, po zbylé ploše výskytu není dobyvatelná. [2]

3. Regionální prognóza vzniku otřesů

Pro určení náchylnosti horninového masivu v oblasti ostravsko-karvinského revíru byl vypracován metodický postup GM/05/REG – Regionální prognóza vzniku otřesu na dolech OKR. [4] Tento metodický postup představuje podrobný návod k praktickému posouzení oblasti horninového masivu a jejího označení jako potencionálně nebezpečnou s možným vznikem otřesu či nikoliv. Pro toto určení se využívá hodnocení geologických a fyzikálně mechanických vlastností jednotlivých vrstev, slojí, nebo jejich částí, tvořících zkoumanou oblast masívu, vymezenou jak vertikálně, tak i horizontálně. Podle změny přírodních podmínek nebo při výskytu okolností svědčících o možném vzniku otřesu musí být regionální prognóza průběžně aktualizována. Výsledkem analýzy otřesových jevů a přírodně geologických vlastností je regionální prognóza. [4]

„Principy a základní zásady systému regionální prognózy otřesů lze popsat následovně:

- celý horský masiv OKR na dolech s nebezpečím otřesů je nebezpečný otřesy,
- podle místa vzniku rozlišujeme dva druhy otřesů, a to otřesy slojové a otřesy z vyššího nadloží,
- na základě výsledků regionální prognózy lze vymezit části horského masívu bez nebezpečí otřesů, ale i přefadit zpět mezi části nebezpečné otřesy. V takto zařazené části horského masívu se nepředpokládá (předpokládá) vznik otřesu z vyššího nadloží a/nebo otřesu s místem vzniku ve sloji nebo jejím blízkém okolí.“ [4]

4. Analýza vybraných vrtů

Pro tuto práci bylo z databáze OKD zpřístupněno 12 geologických profilů vrtů s dokumentací v měřítku 1:100. Tyto vrty byly zhotoveny firmou Green Gas DPB, a.s. v letech 2009 až 2014 na dole ČSM. Vrty byly vrtány ze slojí 504, 512, 514, 530, 546 a z nadloží sloje 495. Délka jednotlivých vrtů se pohybovala v rozmezí 151 až 386 metrů (Tab. 2).

Tabulka 2: Souhrn analyzovaných vrtů

| č. | Označení vrtu | Vrtáno | | Konečná délka [m] | Mocnost ef. nadloží spojených slojí 461+463 [m] | Uhlonosnost vrtu [m] |
|----|---------------|----------------|---------------|-------------------|---|----------------------|
| | | od – do | Ze sloje č. | | | |
| 1 | ČSM-1319/09 | 8. - 9. 2009 | 504 | 234,60 | 18,90 | 2,43 |
| 2 | ČSM-1380/13 | 10. - 12. 2013 | 512 | 386,00 | 12,30 | 3,85 |
| 3 | ČSM-1381/13 | 8. - 9. 2013 | 512 | 228,60 | 14,58 | 4,16 |
| 4 | ČSM-1386/13 | 6. - 7. 2013 | 512 | 231,00 | 6,00 | 4,67 |
| 5 | ČSM-1387/13 | 7. 2013 | 512 | 238,40 | 6,00 | 5,46 |
| 6 | ČSM-1390/13 | 8. - 9. 2013 | 504 | 169,00 | 8,28 | 4,29 |
| 7 | ČSM-1396/14 | 1. - 3. 2014 | 546 | 358,30 | 11,40 | 7,32 |
| 8 | ČSM-1400/14 | 2. - 4. 2014 | 530 | 343,00 | 14,04 | 4,85 |
| 9 | ČSM-1402/14 | 9. - 10. 2014 | 530 | 254,50 | 17,20 | 6,08 |
| 10 | ČSM-1404/14 | 3. - 4. 2014 | 504 | 308,00 | 13,20 | 3,14 |
| 11 | ČSM-1408/14 | 6. - 7. 2014 | 514 | 227,50 | 15,18 | 7,19 |
| 12 | ČSM-1427/14 | 10. 2014 | nadl. sl. 495 | 151,00 | 22,62 | 2,84 |

Poskytnutá dokumentace každého vrtu obsahuje:

- kompletní fotodokumentaci vrtných jader uložených ve vzorkovnicích o délce jednoho metru vzestupně označených hloubkou vrtu (Obr. 6),



Obrázek 6: Příklad fotodokumentace jádra vrtu ČSM-1319/09 z oblasti efektivního nadloží slojí 461+463 [5]

- protokol o geomechanickém vyhodnocení vrtu obsahující popis navrtaných uhelných slojí s analýzou jejich blízkého okolí (Obr. 7),

Green Gas DPB, a.s.

| GEOMECHANICKÉ VYHODNOCENÍ VRTU Č. ČSM-1319/09 - DŮL ČSM | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|----------------------------|-------------------------------|-----------|
| Lokalizace : 402 342/1, 162,5 m, 3. kra | | | | | Směr vrtu : úpadní | | | | |
| Redukovaná pevnost v tlaku pro efektivní nadloží a podloží slojí a úhel pevnostního spádu | | | | | | | | | List č. 1 |
| Sloj číslo | Uložení sloje od [m] do [m] | | Efektivní nadloží od [m] do [m] | | Efektivní podloží od [m] do [m] | | Red. pevnost nadloží [MPa] | Úhel pevn. spádu α [°] | |
| 463 | 217,45 | 220,60 | 198,55 | 217,45 | 220,60 | 233,83 | 37,87 | 32,61 | 51,25 |

V Paskově dne: 3.11.2009

Zpracoval: Milada Chovančíková - dokumentátor

Schválil: Ing. Tereza Rojáková - vedoucí geolog

Obrázek 7: Příklad protokolu geomechanického vyhodnocení vrtu ČSM-1319/09 [5]

- protokol o kusovitosti celého vrtu, v němž jsou zaznamenány diskontinuity vrtu po celé jeho délce (Obr. 8),

Green Gas DPB, a.s.

| GEOMECHANICKÉ VYHODNOCENÍ VRTU Č. ČSM-1319/09 - DŮL ČSM | | | |
|---|----------------------------------|-------------|-----------|
| Lokalizace : 402 342/1, 162,5 m, 3. kra | | Směr vrtu : | úpadní |
| Kusovitost jádra | | | List č. 1 |
| Metry | Centimetry | | |
| 000 | 00050 | | |
| 001 | | | |
| 002 | | | |
| 003 | R57 60 67 74 89 | | |
| 004 | 19R25 28 66 69 89 | | |
| 005 | P11 21 32 42 60 88 | | |
| 006 | 33 55 66 73 | | |
| 007 | 08P25R35 44 68P75P83 | | |
| 008 | R22P39 51 84 | | |
| 009 | 00P06 10 17P31 40 49P71P79 82P88 | | |
| 010 | 15 27R64 77R88 95 | | |
| 011 | R18 25R64 68P74 | | |
| 012 | R27 32R58 69 89P96 | | |
| 013 | 09 15 30 47 75 82P88 | | |

Obrázek 8: Příklad protokolu kusovitosti jádra vrtu ČSM-1319/09 [5]

- protokol se stanovenými pevnostními charakteristikami jednotlivých vrstev zastižených vrtem (Obr. 9),

| Vrt ČSM-1319/09 | | Stanovení pevnosti a redukované pevnosti vrstev | | List č. 2 |
|-----------------|--------|---|------------------------|-----------------------------------|
| Od [m] | Do [m] | Geologická vrstva | Pevnost σ [MPa] | Red. pevnost σ_{red} [MPa] |
| 128,70 | 136,00 | Pískovec jemno až střednězrný | 90,00 | 54,32 |
| 136,00 | 141,80 | Prachovec | 50,00 | 27,73 |
| 141,80 | 142,37 | Uhlí | 20,00 | 9,87 |
| 142,37 | 143,00 | Prachovec písčité | 50,00 | 28,41 |
| 143,00 | 148,65 | Prachovec | 50,00 | 25,73 |
| 148,65 | 153,55 | Pískovec jemno až střednězrný | 90,00 | 43,42 |
| 153,55 | 154,60 | Prachovec písčité | 50,00 | 24,12 |
| 154,60 | 157,80 | Prachovec | 50,00 | 28,84 |
| 157,80 | 175,00 | Pískovec jemno až střednězrný | 90,00 | 54,88 |
| 175,00 | 195,00 | Pískovec střednězrný | 90,00 | 49,22 |
| 195,00 | 198,00 | Pískovec střednězrný | 90,00 | 49,65 |
| 198,00 | 200,41 | Prachovec | 50,00 | 23,92 |

Obrázek 9: Příklad protokolu stanovených pevností vrtu ČSM-1319/09 [5]

- protokol o vykonaných pevnostních zkouškách na vybraných těliscích (Obr. 10),

GEOMECHANICKE VYHODNOCENI VRTNEHO JADRA

DUL: CSM
VRT: 1319/09

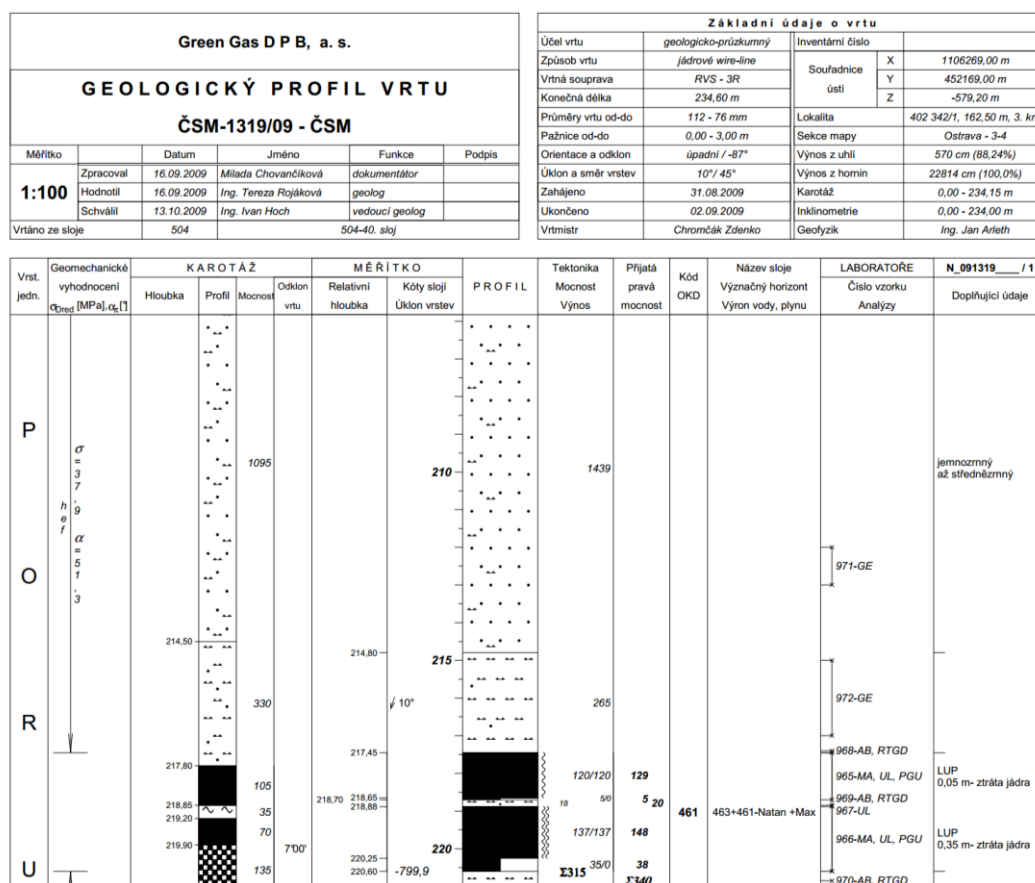
| DLE VZ. | INTERVAL (m) | PEVNOST V TLAKU (MPa) | | | PEVNOST V TAHU (MPa) | | |
|---------|-----------------|--------------------------|--------|----|-------------------------|--------|----|
| | | ROZSAH | PRUMER | KS | ROZSAH | PRUMER | KS |
| 971 | 212.00 - 213.00 | 85.5 - 109.4 | 96.6 | 5 | 7.8 - 10.4 | 9.4 | 5 |
| 972 | 215.00 - 217.00 | 54.1 - 113.2 | 75.4 | 5 | 3.5 - 8.3 | 6.6 | 5 |

Analýzovatel: Chladil M.
V PRÁKOVÉ DNE: 05.11.2009

Petr Bens
vedoucí
geologických laboratorí

Obrázek 10: Příklad protokolu geomechanického vyhodnocení vrtného jádra vrtu
ČSM-1319/09 [5]

- geologický profil (Obr. 11).



Obrázek 11: Příklad geologického profilu vrtu ČSM-1319/09 [5]

V poskytnuté dokumentaci průzkumných jádrových vrtů bylo zaznamenáno celkem 259 vrstev prachovců. U všech vrstev byla uvedena pevnost v prostém tlaku a redukovaná pevnost. Průměrná hodnota redukované pevnosti byla 25,51 MPa. Vypočtená charakteristická pevnost pro vrstvy prachovců byla 25,16 MPa. Průměrná mocnost těchto vrstev dosahovala 1,2 m. Druhým nejčastěji se vyskytujícím typem horniny byl pískovec o počtu 183 vrstev. Průměrná hodnota redukované pevnosti pískovcových vrstev byla 48,17 MPa. Vypočtená charakteristická pevnost pro pískovcové vrstvy byla 47,21 MPa. Průměrná mocnost pískovcových vrstev dosahovala 3,9 m. Další zaznamenané horninové typy se vyskytovaly výjimečně. Celkový přehled je uveden v následující tabulce (Tab. 3).

Tabulka 3: Přehled zaznamenaných horninových typů

| Typ horniny | Počet zastižených vrstev | Průměrná redukovaná pevnost [MPa] | Charakteristická redukovaná pevnost [MPa] | Průměrná mocnost [m] |
|--------------------|---------------------------------|--|--|-----------------------------|
| Prachovec | 259 | 25,51 | 25,16 | 1,2 |
| Pískovec | 183 | 48,17 | 47,21 | 3,9 |
| Jílovec | 31 | 15,00 | 13,95 | 0,6 |
| Tufit | 7 | 8,47 | 7,40 | 0,4 |
| Tonstein | 4 | 6,51 | 5,49 | 0,1 |
| Slepenec | 1 | 38,85 | - | 1,0 |
| Kenel | 1 | 8,92 | - | 0,2 |

V efektivním nadloží slojí 463+461 v analyzovaných vrtech bylo zasaženo celkem 35 vrstev prachovců a to od prachovců jílovitých až po prachovce písčité. Průměrná redukovaná pevnost dle koeficientu k_{op} těchto prachovcových vrstev činila 27,52 MPa, průměrná mocnost dosahovala 1,17 metrů. Dále zde bylo zastiženo 46 vrstev pískovců od pískovců jemnozrnných až po pískovce středně až hrubozrnné. Jejich průměrná redukovaná pevnost je 46,04 MPa a průměrná mocnost 4,3 metrů. Slepenec byl zastižen pouze ve vrtu 1404/14 o redukované pevnosti 38,85 MPa a mocnosti 1,0 metru.

4.1. Horninové typy

Porubské vrstvy jsou tvořeny převážně klastickými sedimenty. Jsou to usazené horniny vzniklé erozí starších hornin. Transportem horninového materiálu a roztoků z nich vzniklých byly vytvořeny sedimenty transportované. Sedimenty, které nebyly transportované, se označují jako reziduální. Sedimenty mohou být sypké a jejich zpevnění nastává v průběhu diagenese. Hranice mezi zpevněnými a nezpevněnými sedimenty je však obtížně objektivně stanovitelná. Klastické sedimenty se rozdělují podle velikosti částic, kterými jsou tvořeny. Toto rozdělení je popsáno v tabulce č. 4. [2], [6]

Tabulka 4: Stupnice a názvosloví klastických sedimentů [6], upraveno

| Stupnice zrnitosti a názvosloví | | | | | | |
|---------------------------------|-------|------------------|------------|-----------------|---------|-----------------|
| ř | mm | balvany | | šterk, slepenec | (řec.) | (lat.) |
| -8 | 256 | | | | valouny | hrubé |
| | 50 | střední | | | | |
| | 10 | drobné | | | | |
| | -1 | 2 | hrubozrnný | | | písek, písčovec |
| 0 | 1 | střednozrnný | | | | |
| 1 | 0,5 | | | | | |
| 2 | 0,25 | jemnozrnný | | | | |
| 4 | 0,063 | silt, siltovec | | | aleurit | lutit |
| 8 | 0,004 | prach, prachovec | | | | |
| 9 | 0,002 | jíl, jílovec | | | pelit | |

Jílovce neboli pelity jsou zpevněné sedimenty tvořené částicemi, jejichž velikost nepřesahuje 0,002 mm. Jsou tvořeny jílovými minerály, v menší míře křemenem, slídou, chloritem a živcem. Barva jílovců je závislá na obsažených příměsích od šedavě bílé až k černé. Jílové minerály jsou schopny absorbovat velké množství vody, ta dává jílu tvárnost a plasticitu. [6]

Běžnou součástí všech sedimentárních prostředí jsou prachovce. Zrna obsažená v prachovcích mají velikost od 0,004 mm do 0,063 mm. Svým složením přechází od jílovců k jemnozrnným pískovcům. Jde o zpevněnou sedimentární horninu s převládajícím obsahem jemných prachových klastů. Prachovce vznikly zpevněním převážně prachových částic mořských a jezerních sedimentů. [2], [6]

Pískovce jsou v ostravském souvrství dalším nejběžnějším horninovým typem. Základní hmota pískovců je tvořena převážně prachovito-jílovitými, u hrubších typů pak jemně písčito-prachovitými částicemi. Pískovce jsou klastické sedimenty, jejichž hlavní složkou jsou zrna pískové frakce. Tyto částice jsou v rozmezí velikosti od 0,063 mm do 2 mm. Tmel je převážně karbonátový. Z ostatních složek je zastoupen především jíl a silt. Podle zrnitosti se pískovce rozdělují na jemnozrnné, střednězrnné a hrubozrnné. [2]

Slepence jsou klastické horniny vzniklé diagenetickým zpevněním štěrku. Jeho zrna jsou zaoblená a významně se podílí na složení. V ostravském souvrství se vyskytují vzácně, jejich podíl se pohybuje kolem 1 %. Slepence jsou zpravidla tvořeny drobnými, méně často středně velkými zrny. Podle velikosti částic se slepence rozdělují na balvanové, hrubozrnné, drobnozrnné a jiné. Slepence jsou většinou velmi různorodého složení. Podle složení se rozeznávají slepence monomiktní, oligomiktní, a petromiktní. Monomiktní slepence jsou tvořené jen z jednoho klastického materiálu, oligomiktní slepence tvoří několik málo druhů materiálu a na složení slepenců petromiktních se podílí různorodý horninový materiál. Slepence tvoří v ostravském souvrství decimetrové až několikametrové vložky v mocnějších polohách hrubo až střednězrnných pískovců až arkóz. Poměr klastů a základní hmoty není konstantní. Tmel bývá karbonátový, křemitý a jílový. Základní hmota je vždy drobová až arkózová a písčitá. Nejvýznamnějším horizontem je tzv. zámecký slepenec. [2]

4.2. Geomechanické vlastnosti hornin

Geomechanické vlastnosti průvodních hornin, které se používají pro posouzení horninového masivu, se liší pro různé litologické typy. Všeobecně lze určitým litologickým typům přiřadit konkrétní fyzikálně mechanické vlastnosti (Tab. 5). Tyto horniny lze poté označit za "pevné" a "méně pevné". Toto členění je však velmi hrubé, neboť je potřeba brát v úvahu petrografické vlastnosti těchto hornin. Záleží zde na jakosti zrn a tmelů, a také na druhotném ovlivnění jako je například chemická přeměna, přítomnost kavern, obsah rostlinných zbytků apod. Tyto faktory mají vliv na značné rozdíly u hornin stejných litologických typů. Sedimentace uhlonosných vrstev v OKR nebyla po celém území konstantní a mocnosti jednotlivých vrstev se mění. K rozdílům v litologii dochází jak ve vertikálním směru, kde se mění vrstevní sled, tak ve směru horizontálním, kde ve stejných vrstvách v malé vzdálenosti může mít vrstevní sled zcela jiné geofyzikální vlastnosti. [4]

Tabulka 5: Průměrné pevnosti v tlaku jednotlivých litologických typů hornin v OKR [4]

| Hornina | Rozpětí pevnosti v tlaku (prostý tlak) [MPa] | Průměrná hodnota pevnosti v tlaku [MPa] |
|--------------------------|---|--|
| uhlí | 13,0 – 29,1 | 21,9 |
| jílovec | 40,1 – 78,5 | 59,2 |
| prachovec | 71,5 – 106,2 | 90,3 |
| jemnozrnný pískovec | 102,0 – 173,8 | 123,8 |
| střednězrnný pískovec | 46,0 – 157,6 | 73,5 |
| hrubozrnný pískovec | 37,8 – 140,0 | 89,0 |

4.3. Porušenost hornin (kusovitost, RQD)

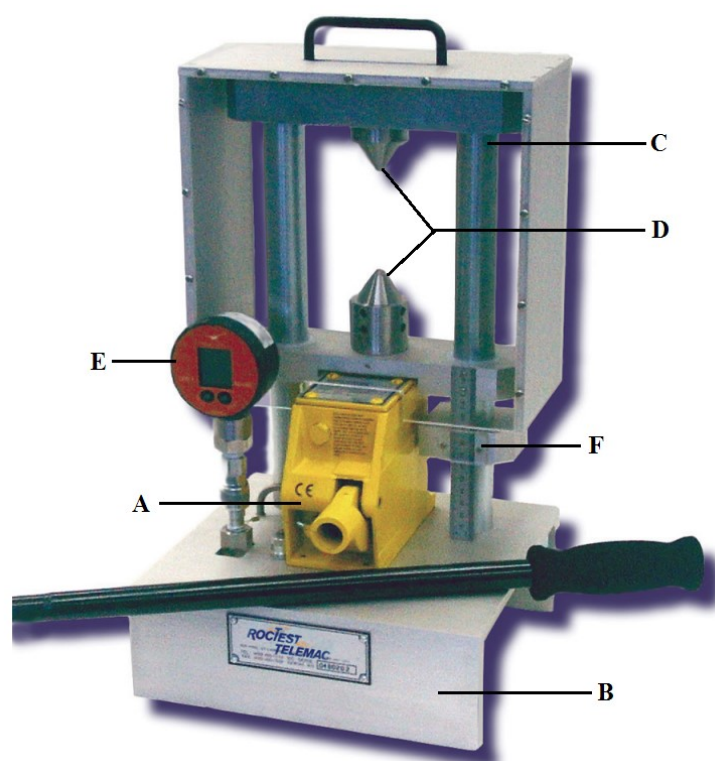
Pro stanovení oslabení horninového prostředí se v podmínkách OKD používá vypočtená redukovaná pevnost horniny (σ_{Dred}). Ta se v současné době počítá za pomoci koeficientu kusovitosti. Tato kapitola popisuje postup výpočtu redukované pevnosti podle kusovitosti a následně za použití koeficientu RQD.

4.4. Výpočet redukované pevnosti dle kusovitosti

Kusovitost vrtného jádra je údaj, který se využívá pro výpočet redukované pevnosti. Hornina vykazuje různé vlastnosti zejména při různé četnosti ploch nespojitosti. Kusovitost se zjišťuje na vytěžených vzorcích vrtného jádra a představuje jí četnost ploch nespojitosti, která charakterizuje délky jednotlivých vzájemně oddělených kousků jádra. Při výskytu kousků kratších než 5 cm, nebo výskytu drti se tyto úseky v protokolu kusovitosti označují příslušnými písmeny "D" - destičky, "R" – drť. Totéž platí pro úsek se ztrátou jádra, kde se používá znak "Z". V uhelné sloji se kusovitost neměří a označuje se písmenem "U". Při výskytu šikmých ploch se kusovitost měří v ose jádra. Uměle vytvořené plochy se nezapočítávají a délka obou sousedních kousků se sčítá. [4]

Výpočet pevnostních vlastností průvodních hornin reprezentuje pevnost v prostém tlaku (σ_D) a to ve směru kolmém na vrstevnatost. V blízkém okolí sloje se stanovují buď in-situ za pomoci indexu pevnosti vypočteného z naměřených hodnot na polním lisu nebo v laboratoři na laboratorním lisu. Vzorky se pro zkoušku v prostém tlaku odebírají z každé petrograficky odlišné vrstvy, aby bylo možno provést zkoušku na pěti zkušebních tělísčích pro danou vrstvu. Pokud je mocnost vrstvy příliš malá, provede se menší počet měření s maximálním využitím vzorků. Naopak pokud je mocnost vrstvy velká, provede se měření na více vzorcích pro přesnější stanovení pevnostních charakteristik – pokud možno se vzorek odebere z každého metru jádra. Z odebraného vzorku se připraví zkušební tělísko ve tvaru válečku, jehož průměr odpovídá vnitřnímu průměru vrtné korunky. Výška tělíska vzhledem k průměru se volí tak aby byla v rozmezí 1:1 až 1,1:1. [4]

Při použití polního lisu se používají zkušební tělíska, jejichž koncové plochy nejsou opracované. Tělísko je upnuto mezi kuželové čelisti ve směru kolmém na vrstevnatost a je zaznamenána vzdálenost mezi čelistmi. Poté se čelisti vzájemně přibližují pomocí zvyšujícího se tlaku až do okamžiku porušení vzorku. Pro potřeby výpočtu se zaznamenává tlak v okamžiku porušení vzorku. Každý polní lis je jednou za dva roky cejchován a z charakteristiky zvedáku je určena konstanta lisu. Popis jednotlivých částí polního lisu je znázorněn na následujícím obrázku (Obr. 12).



*Obrázek 12: Popis polního lisu [7], upraveno
 A – Zdroj síly schopný vyvinout sílu do 70 kN, B – základová deska, C – rám,
 D – čelisti, E – měřidlo síly, F – posuvné měřítko*

Pro použití standartního laboratorního lisu se kontaktní plochy tělísek zabrušují pro dosažení rovnoměrné kontaktní plochy mezi tělískem a lisem. Tělíska se rovnoměrně zatěžují až do jejich porušení. Potřebný tlak pro porušení tělísek odpovídá pevnosti v prostém tlaku a tomuto měření se dává přednost. Výpočet redukované pevnosti přímo navazuje na měření na standartním lisu. [4]

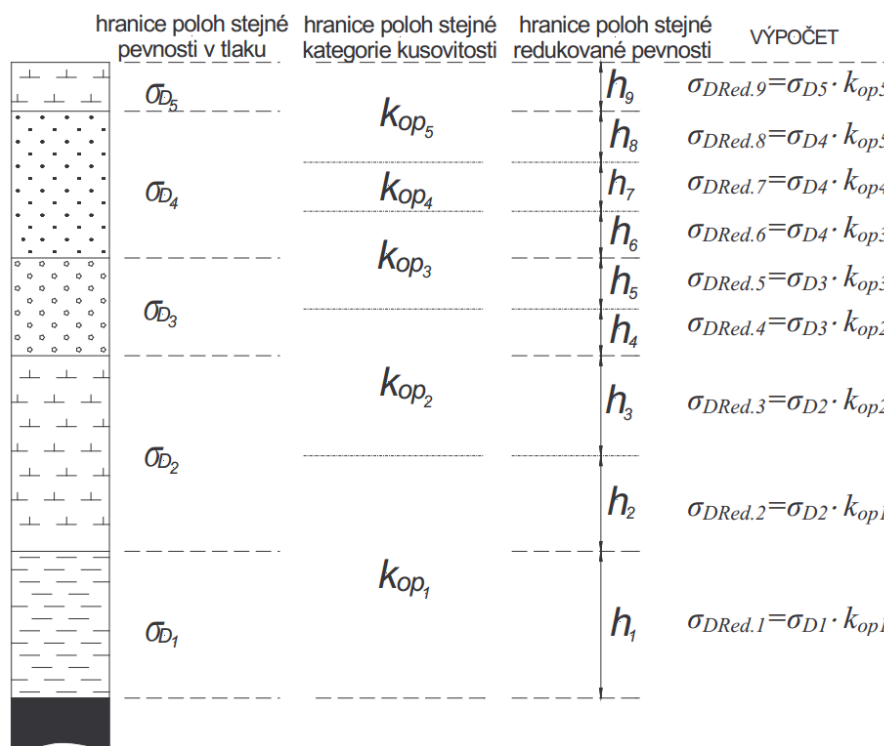
Pro fyzikálně mechanické hodnocení horského masivu se v podmínkách OKR vžilo používat tzv. redukovanou pevnost horniny. Jde o pevnost horniny v prostém tlaku opravenou o vliv oslabení způsobený plochami nespojitosti (porušeností horninového masivu). Dle dlouhodobých zkušeností byla určena limitní redukovaná pevnost horninové vrstvy rovnající se 54 MPa. Zjištěné redukované pevnosti přesahující 54 MPa se v regionální prognóze, ve smyslu náchylnosti horninového masivu k nebezpečí vzniku důlních otřesů, považují za nepříznivé. [4]

Redukovaná pevnost se vypočte dle následujících vztahů. [4]

$$\sigma_{Dred.} = \sigma_D \cdot k_{op}^{(1)}$$

kde: $\sigma_{Dred.}$ - redukovaná pevnost petrografické polohy
 σ_D - průměrná pevnost polohy v prostém tlaku
 k_{op} - součinitel snížení pevnosti vlivem oslabení masivu

Výpočet redukované pevnosti ve vybraných vrtech byl proveden pro každou petrografickou polohu o stejné kategorii kusovitosti a pevnosti v prostém tlaku. Postup pro stanovení těchto poloh znázorňuje následující obrázek (Obr. 13).



Obrázek 13: Schéma stanovení hranic poloh o stejné redukované pevnosti [4]

Koeficient snížení pevnosti vlivem oslabení masivu (k_{op}) je funkcí koeficientu celistvosti (k_c). Závislost je dána empirickým vztahem. [4]

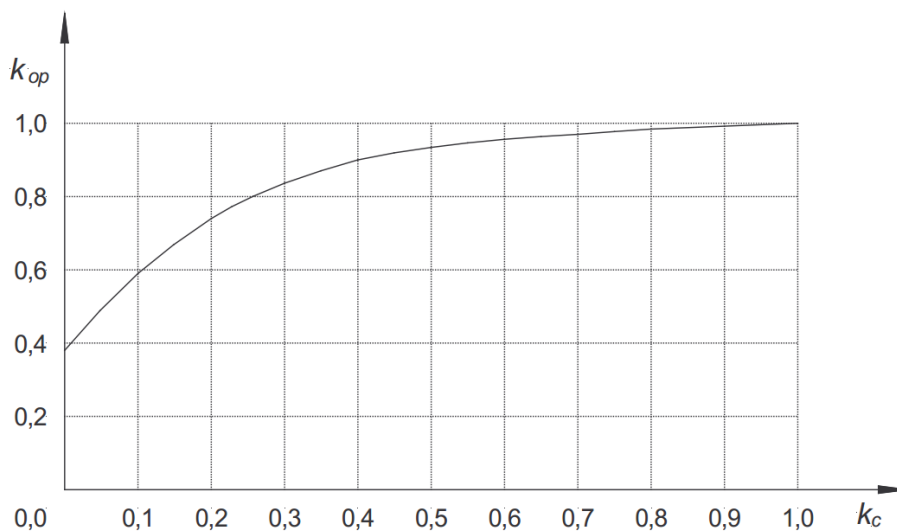
$$k_{op} = 1,00 - 0,5911 \cdot e^{-4,14 \cdot k_c} \quad (2)$$

a po úpravě

$$k_{op} = 1,00 - \frac{0,5911}{e^{4,14 \cdot k_c}} \quad (3)$$

kde: e - základ přirozeného logaritmu
 k_c - koeficient celistvosti

Grafické vyjádření závislosti koeficientu $k_{op}=f(k_c)$ je znázorněno na následujícím obrázku (Obr. 14).



Obrázek 14: Závislost koeficientu snížení pevnosti na koeficientu celistvosti [4]

Pro stanovení hodnoty opravného koeficientu pevnosti (k_{op}) je zapotřebí znát normované délky (l_n), stanovené dle průměru jádra a technologie vrtání, kusovitost a její kategorii. Normovaná délka a kategorie kusovitosti se stanoví dle následující tabulky (Tab. 6). [4]

Tabulka 6: Stanovení normované délky [4]

| Průměr jádra a technologie vrtání | | Délka kousků jádra [cm] | | | Normovaná délka l_n [cml |
|-----------------------------------|--|-------------------------|------------|------|----------------------------|
| 22 mm | jednoduchá jádrovnice | 7,5 | 7,5 - 10,5 | 10,5 | 100 |
| 30 mm | | | | | |
| 36 mm | | | | | |
| 49 mm | jednoduchá jádrovnice | 10 | 10-20 | 20 | 150 |
| 73 mm | | | | | |
| 90 mm | jednoduchá jádrovnice dvojité jádrovnice | 30 | 30-50 | 50 | 300 |
| 48 mm | | | | | |
| 32 mm | | | | | |
| | | I. | II. | III. | |
| | | kategorie | | | |

Ve vymezených polohách o stejné kategorii kusovitosti se vypočte průměrná délka jednotlivých úlomků jádra dle následujícího vztahu. [4]

$$l_{ni} = \frac{l_p}{p} \quad (4)$$

kde: l_{ni} - průměrná délka úlomků jádra [cm]
 l_p - mocnost vymezené polohy o stejné kategorii kusovitosti [m]
 p - počet úlomků jádra ve vymezené poloze

Pro každou polohu o stejné kategorii kusovitosti se dále vypočte koeficient celistvosti. [4]

$$k_c = \frac{l_{ni}}{l_n} \quad (5)$$

Průměrná redukovaná pevnost se následně stanoví následujícím vztahem. [4]

$$\sigma_{Dred} = \frac{\sum \sigma_{Dred.i} \cdot h_i}{\sum h_i} \quad (6)$$

kde: $\sigma_{Dred.i}$ - redukovaná pevnost v jednotlivých polohách [Mpa]
 h_i - mocnost polohy stejné redukované pevnosti [m]

Pro následnou analýzu vrtů byla zvolena oblast nazývajících se efektivní nadloží spojených slojí 463 + 461. Efektivní nadloží a podloží sloje představují tzv. blízké okolí sloje. Výška efektivního nadloží uhelné sloje se stanovuje následujícím vztahem. [4]

$$h_{ef.nadl.} = \frac{w_s}{k_{na}-1} \quad (7)$$

kde: $h_{ef.nadl.}$ - mocnost (výška) efektivního nadloží [m]
 w_s - mocnost sloje [m]
 k_{na} - koeficient nakypření hornin v závalovém polštáři.
 V OKR se dlouhodobě používá $k_{na} = 1,16$.

Po dosazení a zaokrouhlení lze efektivní nadloží stanovit následovně. [4]

$$h_{ef.nadl.} = 6 \cdot w_s \quad (8)$$

Přitom však $h_{ef.nadl.}$ je nejméně 6 m a nejvíce 30 m. Efektivní podloží se dále stanoví dle následujícího vztahu. [4]

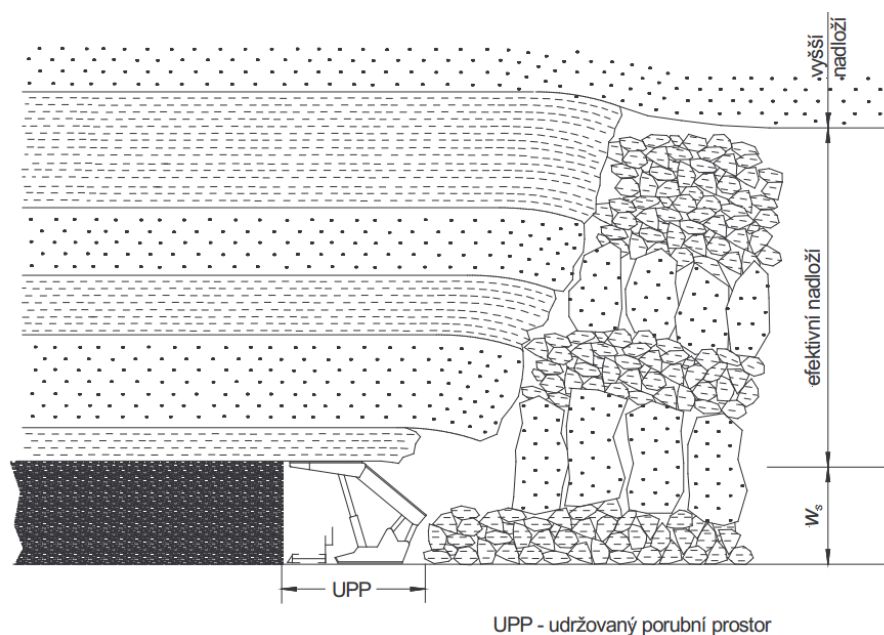
$$h_{ef.podl.} = 0,7 \cdot h_{ef.nadl.} \quad (9)$$

kde: $h_{ef.podl.}$ - mocnost (výška) efektivního podloží [m]

To je po zaokrouhlení a úpravě možné také stanovit následujícím vztahem. [4]

$$h_{ef.podl.} = 4,2 \cdot w_s \quad (10)$$

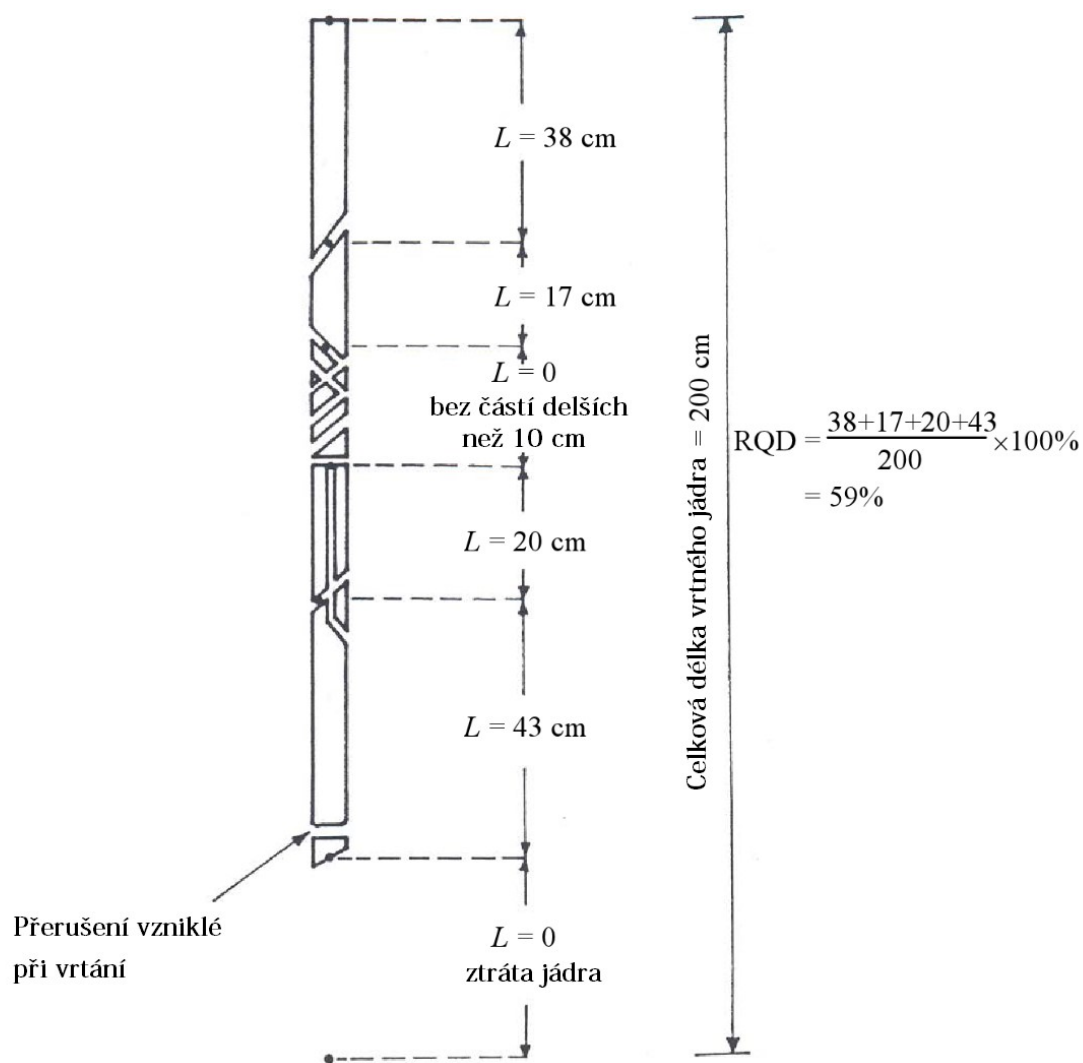
Pokud je v podloží zkoumané sloje jiná sloj ve vzdálenosti menší než $h_{ef.podl.}$ považuje se za podloží část profilu pro tuto sloj. Efektivní podloží je nejméně 4,2 m a nejvíce 20 m. [4]



Obrázek 15: Efektivní a vyšší nadloží [4]

4.5. Výpočet koeficientu RQD

Hodnocení dle koeficientu RQD je prezentováno jako procentuální označení kvality horninového masivu ve smyslu jeho porušení. Vztah pro výpočet zaveden Deere v polovině sedmdesátých let. [8] RQD vyjadřuje hodnocení horniny spočtené na základě podílu součtu délek úlomků vrtného jádra delších než 10 cm měřených v ose vývrtu k celkové sledované délce (Obr. 16). Původně byla metoda RQD určena pro jádra o průměru 54,7 mm. Autorovy zkušenosti následně ukázaly, že je tato metoda aplikovatelná i pro jiné velikosti vrtných jader. Index RQD lze použít také na povrchových odkryvech i v podzemních dílech. V těchto případech můžeme stanovit koeficient RQD z odkrytého profilu lomu nebo důlního díla ve vyznačeném místě (linii). V literatuře můžeme také nalézt řadu vztahů pro přepočet koeficientu RQD z četnosti (frekvence) ploch porušení. [8]



Obrázek 16: Znázornění principu výpočtu RQD [8], upraveno

RQD se na základě získaného vrtného jádra vypočte následujícím vztahem. [8]

$$RQD = \frac{\sum l_{<10}}{l} \cdot 100\% \quad (11)$$

kde: $l_{<10}$ - úlomek vrtného jádra delší 10 cm
 l - délka zkoumané oblasti [cm]

Na základě procentuálního výsledku koeficientu RQD lze testovaný vzorek zařadit do jedné z pěti kategorií (Tab. 7). [9]

Tabulka 7: Dělení kvality horniny dle RQD [9]

| RQD [%] | Kvalita horniny |
|----------------|------------------------|
| 100 – 90 | Výborná |
| 90 – 75 | Dobrá |
| 75 – 50 | Střední |
| 50 – 25 | Nízká |
| 25 – 0 | Velmi nízká |

5. Analýza závislosti koeficientů kusovitosti a RQD

Pro potřebu analýzy získaných dat bylo nutné převést hodnoty redukovaných pevností jednotlivých vrstev z protokolu stanovených pevností do tabulkového procesoru MS Excel. Jednotlivé protokoly byly pro tuto práci poskytnuty v souborovém formátu PDF. Za pomoci optického rozpoznání znaků byly jednotlivé dokumenty převedeny do tabulkového procesoru pomocí programu ABBYY FineReader. Takto surově převedená data bylo dále potřeba zkontrolovat a opravit případné nepřesnosti vzniklé chybným rozpoznáním znaků.

Jak již bylo vysvětleno v kapitole 4.3, redukováná pevnost je vyjádřena oslabením hodnoty pevnosti v prostém tlaku. Výpočet těchto pevností byl proveden pro dvě varianty.

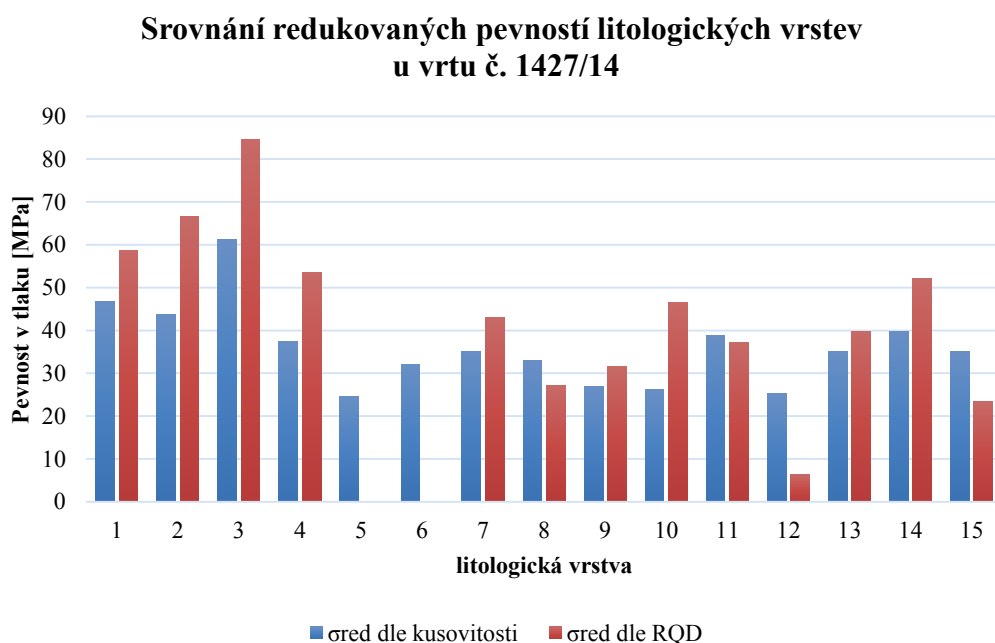
První varianta, používaná v OKR, počítá s hodnotami v prostém tlaku získanými z testování vzorků získaných vrtným průzkumem jednotlivých litologických celků. Tyto hodnoty jsou poté násobeny příslušným koeficientem k_{op} . Tímto je vyjádřena redukováná pevnost jednotlivých litologických vrstev o stejném koeficientu kusovitosti. Z těchto dílčích redukovaných pevností je poté vyjádřena průměrná redukováná pevnost uvedená v protokolu geomechanického vyhodnocení jednotlivých vrtů. Tyto průměrné hodnoty byly následně u jednotlivých vrtů ověřeny výpočtem. Při porovnání získaných dat z protokolů vybraných vrtů a výpočtů provedených autorem byla zjištěna odchylka. Tato odchylka byla nejspíše zapříčiněná převzetím zaokrouhlených hodnot ze získaných protokolů (Tab. 8).

Tabulka 8: Srovnání převzatých a vypočtených hodnot průměrných redukovaných pevností

| vrt č. | $\phi\sigma_{red}$ (protokol) | $\phi\sigma_{red}$ (výpočet) | Rozdíl [MPa] |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1 | 37,87 | 37,88 | 0,01 |
| 2 | 44,67 | 44,24 | 0,43 |
| 3 | 53,74 | 52,34 | 1,40 |
| 4 | 53,02 | 53,85 | 0,83 |
| 5 | 20,66 | 19,02 | 1,64 |
| 6 | 38,75 | 39,62 | 0,87 |
| 7 | 42,75 | 42,47 | 0,28 |
| 8 | 39,12 | 39,61 | 0,49 |
| 9 | 43,28 | 43,81 | 0,53 |
| 10 | 38,22 | 37,74 | 0,48 |
| 11 | 50,54 | 49,86 | 0,68 |
| 12 | 41,53 | 41,52 | 0,01 |

Druhá varianta výpočtu je principiálně obdobná. Při výpočtu redukovaných pevností jednotlivých vrstev byl ve vztahu (1) místo koeficientu k_{op} přímo dosazen vypočtený koeficient RQD dle vztahu (11). Koeficient RQD vyjadřuje, jak již bylo výše uvedeno, stupeň porušenosti horninového masivu vyjádřenou v procentech a je možné jej tedy přímo použít k redukci pevnosti jednotlivých litologických vrstev nacházejících se v horninovém masivu.

Přímým srovnáním vypočtených redukovaných pevností jednotlivých litologických typů hornin s použitím redukčních koeficientů k_{op} a RQD se výsledné redukované pevnosti výrazně liší. Toto lze názorně pozorovat v grafu na následujícím obrázku (Obr. 17).

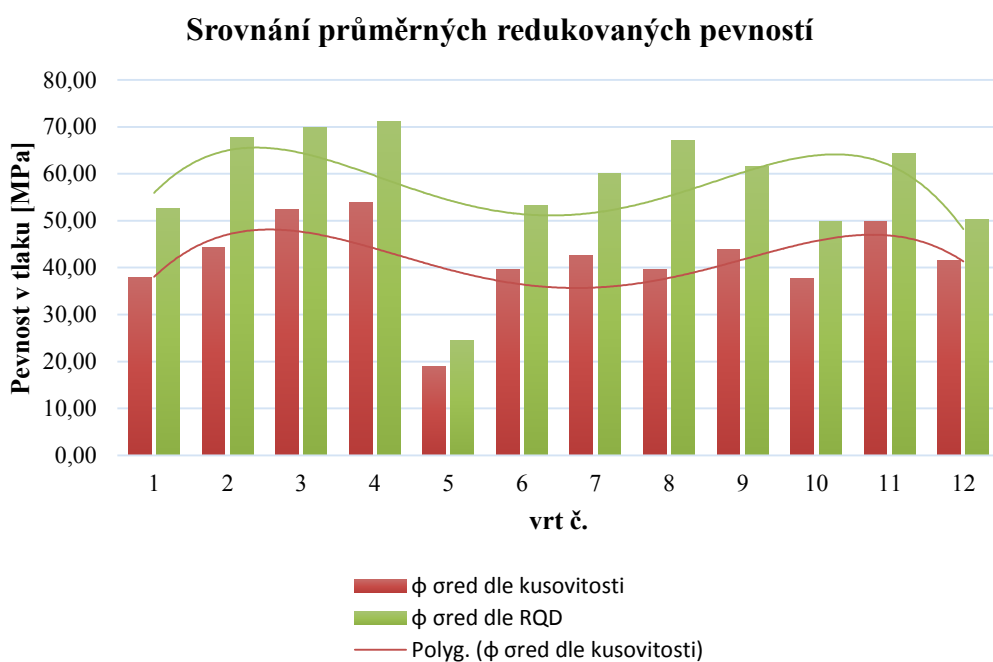


Obrázek 17: Srovnání redukovaných pevností u vrtu č. 1427/14

Jako hlavní příčinu tohoto rozdílu lze označit rozdílnou reprezentaci oslabení masivu jednotlivými koeficienty. Zatímco koeficient RQD nabývá, v závislosti na četnosti a uspořádání analyzovaných diskontinuit, hodnot od 0 do 1 přičemž výsledná pevnost se může v krajních případech rovnat pevnosti v prostém tlaku i nule, koeficient kusovitosti k_{op} se pohybuje v intervalu hodnot (0,41 – 0,99>. Z tohoto vyplývá, že i nejnarušenější část zkoumaného masivu má minimální redukovanou pevnost rovnou 41 % pevnosti v prostém tlaku. Přímé výpočty redukované pevnosti jednotlivých litologických vrstev za použití těchto dvou koeficientů tedy lze obtížně srovnávat.

Průměrná redukovaná pevnost efektivního nadloží je vypočtena dle vztahu (11) jako vážený průměr redukovaných pevností kde váha je dána mocností i -té vrstvy. [4]

Dále následovalo porovnání průměrných redukovaných pevností efektivního nadloží slojí 463 + 461 u jednotlivých vrtů podle obou metod výpočtu. I v tomto případě se výsledky u jednotlivých vrtů značně liší. Zde již ovšem lze pozorovat jistou závislost patrnou z následujícího grafu (Obr. 18).



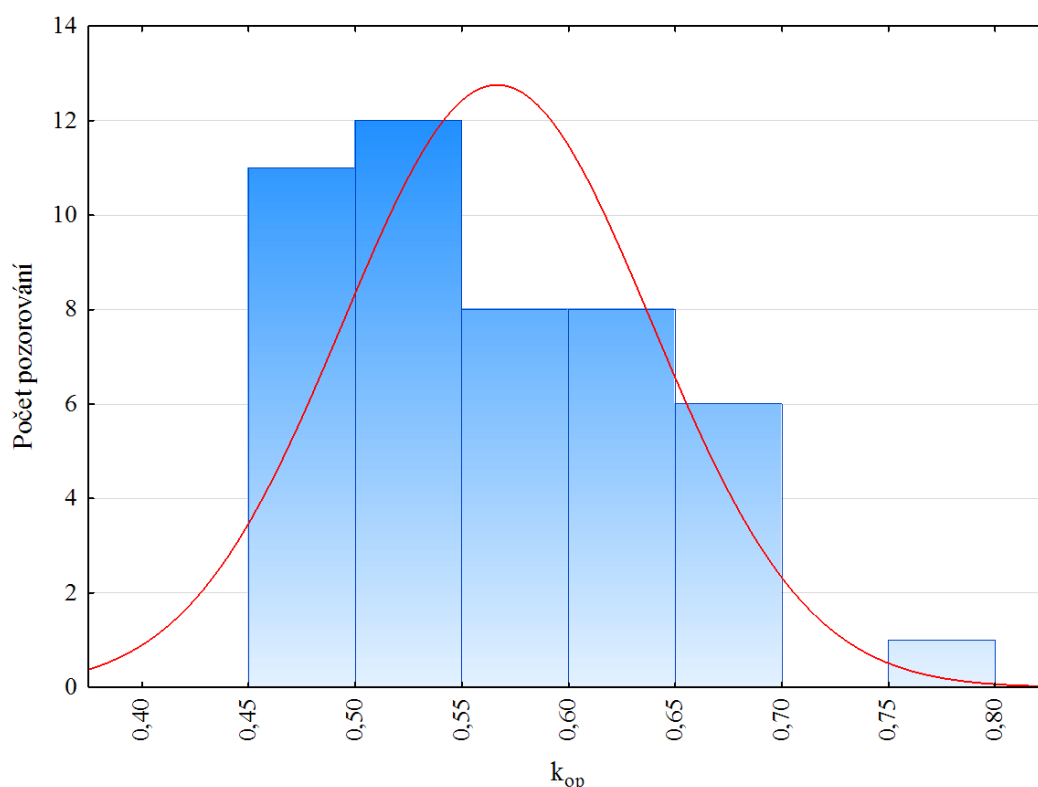
Obrázek 18: Srovnání průměrných redukovaných pevností

Průměrné hodnoty redukované pevnosti v tlaku efektivního nadloží počítané pomocí koeficientu RQD jsou ve všech případech vyšší než hodnoty vypočtené s použitím koeficientu kusovitosti. Pro lepší grafickou prezentaci výsledů byly oběma sadami hodnot proloženy spojnice trendů. Tyto spojnice trendů mají velmi podobný průběh a lze usuzovat, že za použití vhodného redukčního koeficientu u hodnot počítaných pomocí koeficientu RQD by mohlo dojít k překrytí těchto spojnic. Takto získané výsledky by s jistou nepřesností odpovídaly výsledkům podle dnes používané metody výpočtu. V dalším postupu byl zvolen předpoklad použití lineární regrese pro získání případného přepočetniho vztahu mezi oběma metodami. Podmínkou pro výše uvedený předpoklad je, aby posuzované hodnoty redukčních koeficientů splňovaly normální Gaussovo rozdělení.

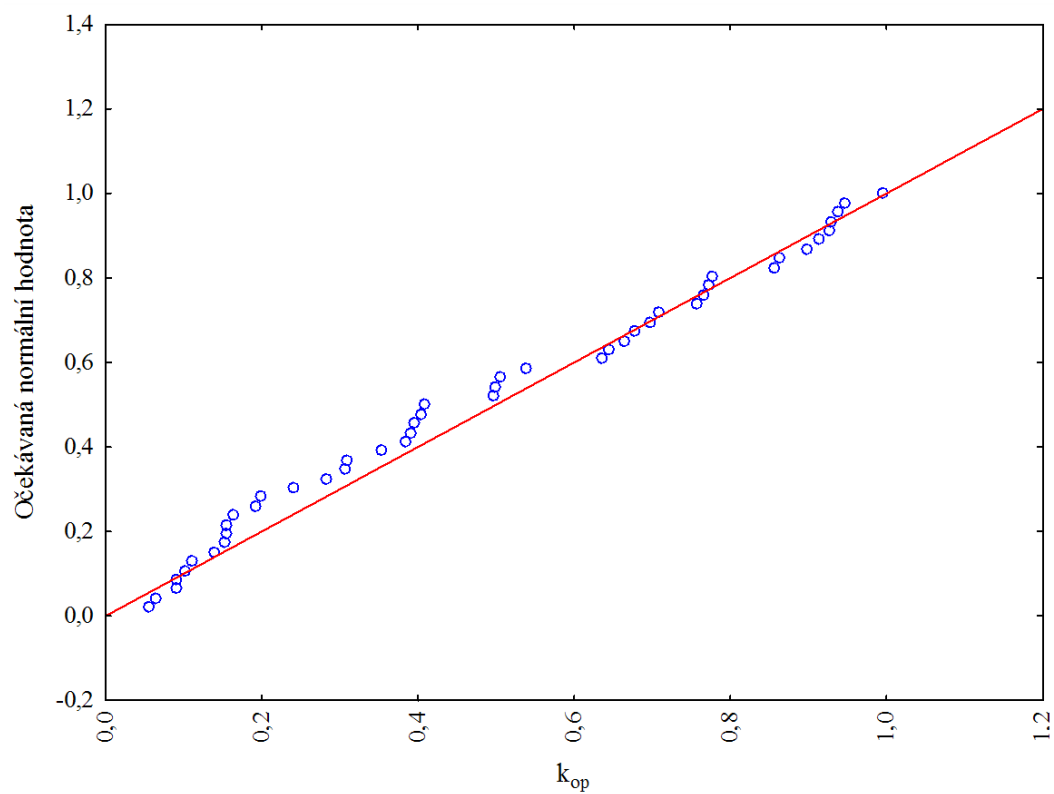
Pomocí softwaru Statistica 12 byly ověřeny rozsahy analyzovaných hodnot koeficientů k_{op} a RQD pro prachovec a pískovec. Předmětem této analýzy bylo stanovení, zda hodnoty koeficientů pocházejí ze souboru dat s normálním rozdělením. Průzkumová analýza dat byla v rámci této práce zaměřena výhradně na grafické metody, které umožní vyšetřit platnost základních předpokladů, tj. nezávislost, homogenitu a normalitu prvků výběru.

Histogramy základních hodnot prachovců pro oba koeficienty neodpovídaly normálnímu rozdělení. Histogram prachovců hodnot koeficientu k_{op} byl kladně zešikmený a obsahoval odlehlé hodnoty, histogram koeficientu RQD měl multimodální rozdělení s více vrcholy.

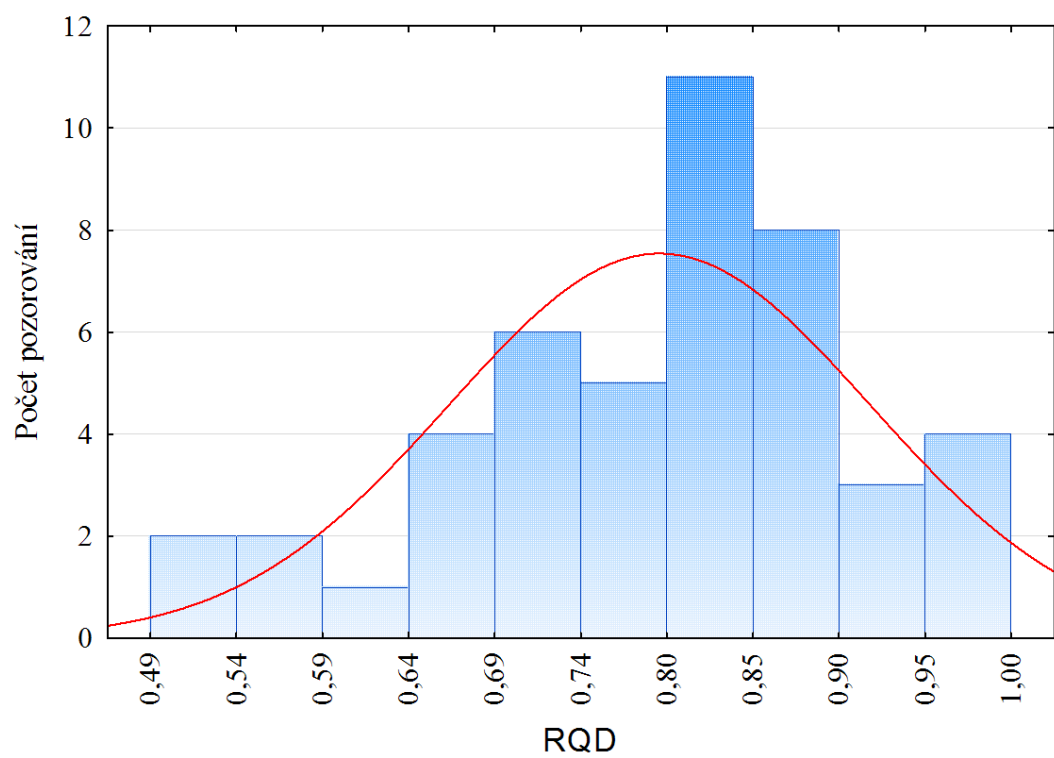
Základní hodnoty pískovců se více blížily k normálnímu rozdělení v porovnání s prachovci. Histogram hodnot koeficientu k_{op} byl méně špičatý s mírným kladným zešikmením. Hodnoty koeficientu RQD byly špičatější se záporným zešikmením (Obr. 19 -22).



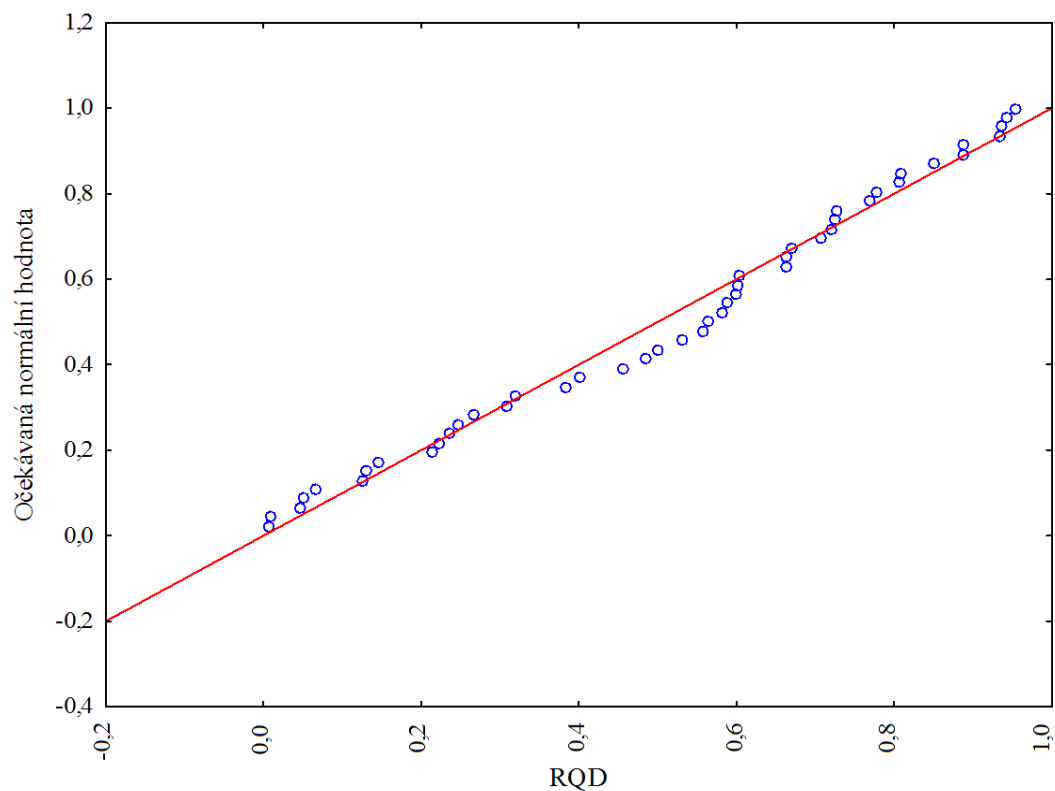
Obrázek 19: Histogram hodnot koeficient k_{op} pro pískovec



Obrázek 20: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu k_{op} pro pískovec



Obrázek 21: Histogram hodnot koeficientu RQD pro pískovec



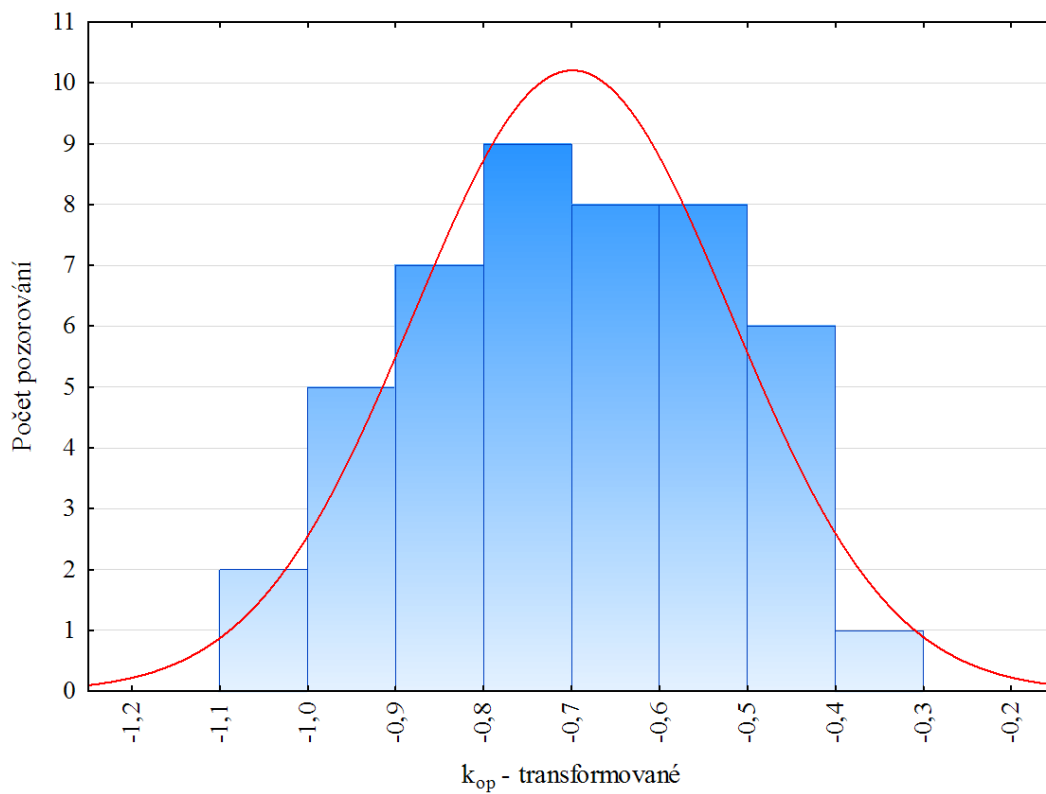
Obrázek 22: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu RQD pro pískovec

Protože původní data nesplňují podmínky normality, byla v dalším postupu použita statistická transformace dat. [10] Pro ověření normality souborů hodnot byly následně vypracovány histogramy a p-p grafy obou koeficientů s použitím následujících transformací:

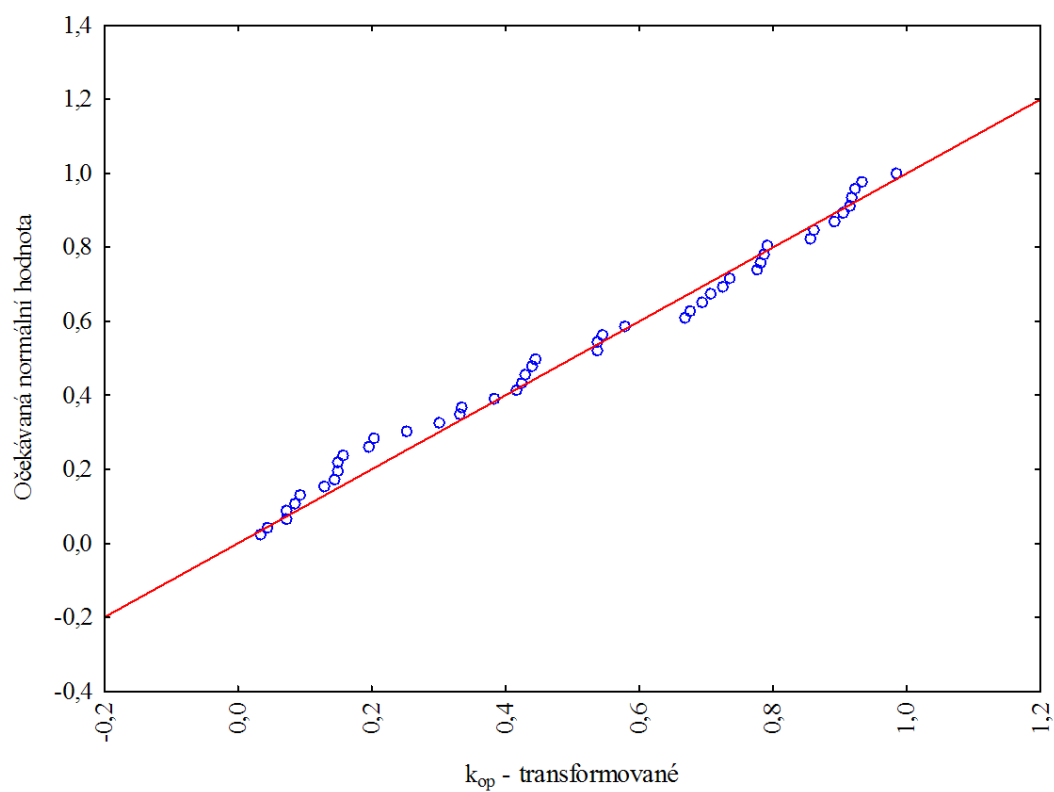
- druhá mocnina $x = x^2$
- odmocnina $x = \sqrt{x}$
- logaritmická $x = \log(x)$
- arcussínová $x = \arcsin(\sqrt{x})$
- Box-Cox $x = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda}$; $\lambda = -0,621747$

Hodnoty redukčních koeficientů u prachovců se pomocí žádné transformace nepodařilo přiblížit k normálnímu rozdělení.

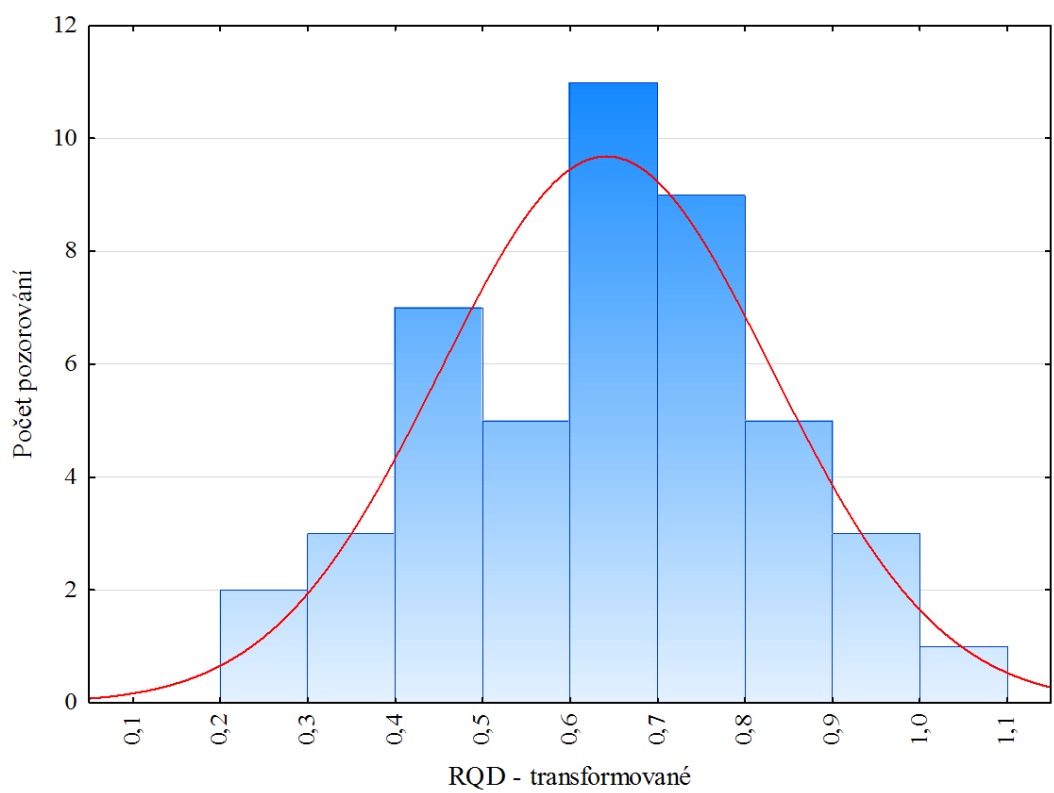
Po použití výše uvedených transformací se u pískovců k normálnímu rozdělení nejvíce blížily transformované hodnoty koeficientu k_{op} za použití transformace Box-Cox a koeficientu RQD s použitím mocninné transformace (Obr. 23 – 26).



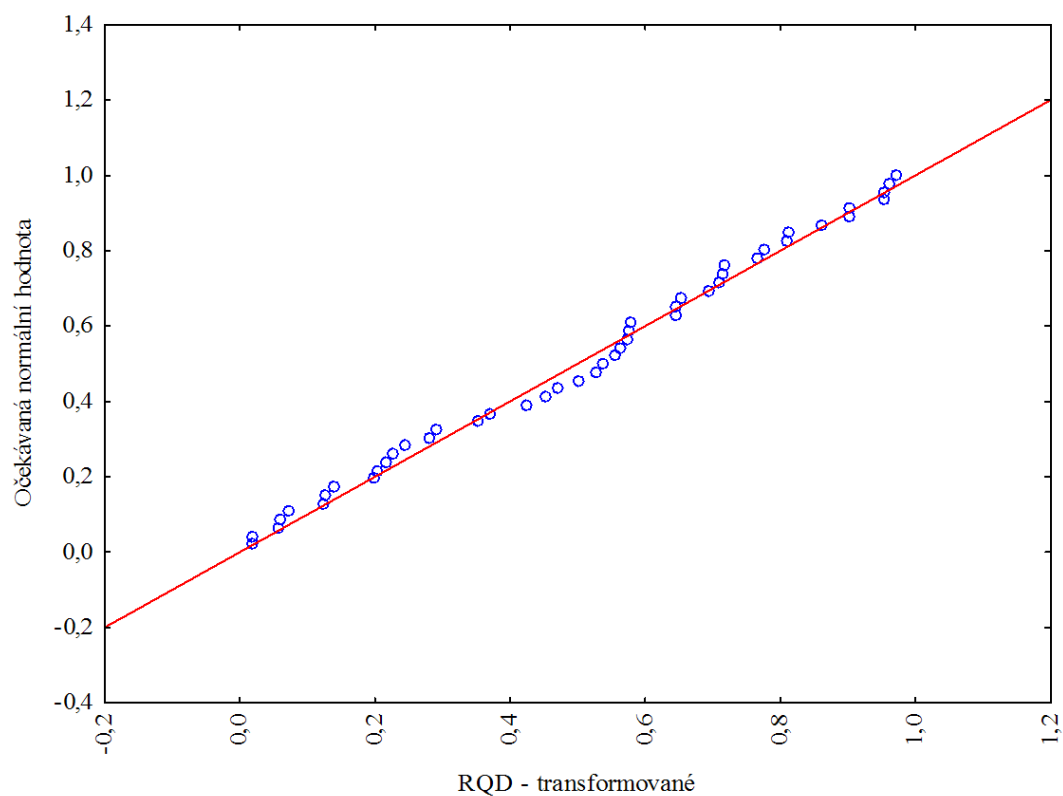
Obrázek 23: Histogram hodnot koeficientu k_{op} pro pískovec transformovaných pomocí Box-Cox transformace



Obrázek 24: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu k_{op} pro pískovec pomocí Box-Cox transformace

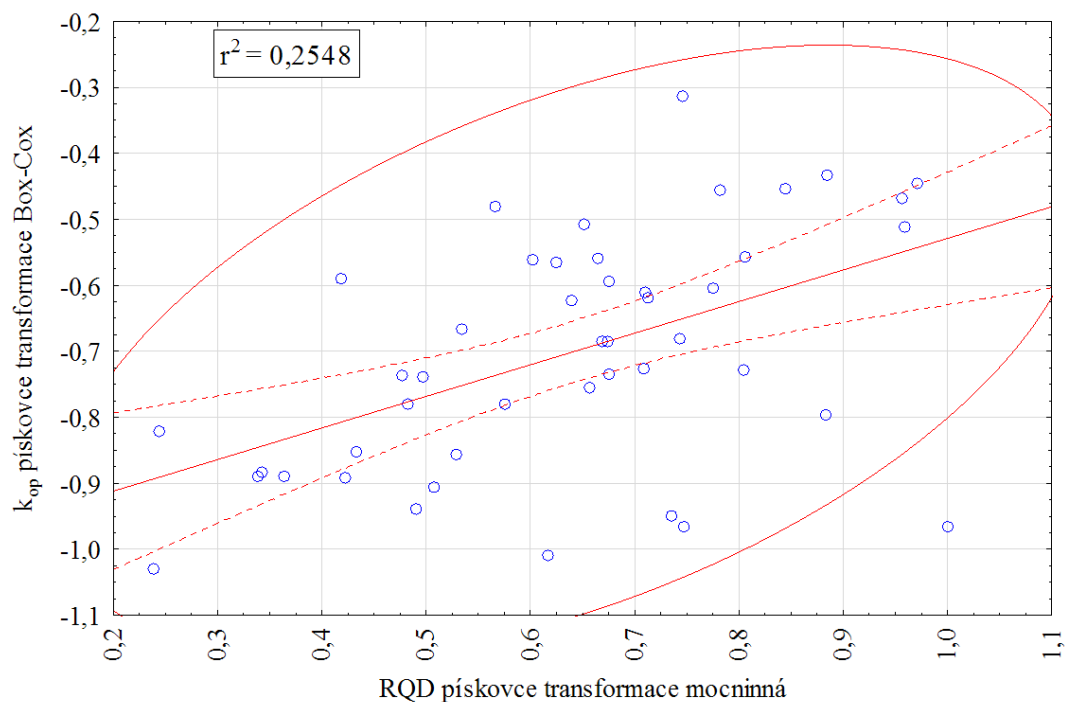


Obrázek 25: Histogram transformovaných hodnot koeficientu RQD pro pískovec pomocí mocninné transformace



Obrázek 26: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu RQD pro pískovec pomocí mocninné transformace

Pro stanovení možné závislosti obou koeficientů byl vyhotoven bodový graf s využitím hodnot koeficientů, které se po transformaci nejvíce blížily normálnímu rozdělení. Zjištěnou závislost redukčních koeficientů k_{op} a RQD představuje následující graf (Obr. 27).



Obrázek 27: Graf závislosti transformovaných koeficientů k_{op} a RQD

Z grafu je patrné že navzdory předchozím transformacím se závislost mezi oběma koeficienty nepodařilo dostatečně prokázat. Koeficient korelace nabývá příliš nízkých hodnot pro jednoznačné určení závislosti.

Na základě tohoto výsledku nelze nyní stanovit vhodný přepočební vztah pro výpočet průměrné redukované pevnosti efektivního nadloží sloje. Pro možnost stanovení tohoto vztahu by bylo potřeba provést další analýzu zahrnující zpracování většího souboru dat.

6. Závěr

Cílem této práce bylo porovnat výpočet redukované pevnosti horninového masívu v efektivním nadloží sloje č. 463 Natan dle kusovitosti a indexu RQD. Tyto výpočty byly provedeny na základě dokumentace z poskytnutých geologicko-průzkumných vrtů provedených v OKR.

Byly vypočteny koeficienty RQD pro jednotlivé litologické vrstvy ležící v efektivním nadloží 12 průzkumných vrtů. Na základě těchto koeficientů byly vypočteny jednotlivé redukované pevnosti pro odpovídající vrstvy a následně průměrné redukované pevnosti efektivních nadloží pro jednotlivé vrty. Tyto vypočtené hodnoty byly porovnány s poskytnutými hodnotami vypočtenými pomocí koeficientů k_{op} .

Na základě předchozích výpočtů lze usoudit, že se zde jeví jistá závislost mezi těmito dvěma variantami výpočtů a koeficient RQD je možno použít při výpočtu redukované pevnosti horniny.

Následná průzkumová analýza dat měla za cíl ověřit normalitu použitých dat a prověřit možnost použití statistické transformace dat. I když v případě pískovců byla nalezena vhodná statistická transformace, závislost obou koeficientů nebyl jednoznačně prokázán. Nebylo tedy možné stanovit přepočtní vztah pro výpočet redukované pevnosti pomocí koeficientu RQD. Pravděpodobnou příčinou je malý rozsah analyzovaných dat s přispěním faktu, že koeficient RQD u prachovce často nabýval nulových hodnot vlivem velké porušenosti jádra analyzovaných vybraných vrtů.

Cíl práce stanovený na jejím počátku byl splněn. Byl porovnán výpočet redukované pevnosti horninového masívu v efektivním nadloží sloje č. 463 Natan dle indexu RQD a kusovitosti na geologicko-průzkumných jádrových vrtech, byla provedena analýza vypočtených redukovaných pevností a následná snaha o nalezení přepočtového vztahu mezi oběma použitými metodami výpočtu redukované pevnosti efektivního nadloží sloje za pomoci vybraných dat geologicko-průzkumných vrtů.

Přepočtový vztah nebyl nakonec na základě provedené analýzy stanoven, neboť nalezená závislost obou použitých koeficientů nebyla dostatečně prokázána. Další výzkum v této oblasti by se měl zaměřit na výskyt četnosti nulových hodnot koeficientu RQD a celá analýza by měla být opakována na větším souboru dat.

7. Seznam použité literatury

1. MARTINEC, P. *Atlas uhlí české části hornoslezské pánve*. Ostrava: Pro Ústav geoniky AV ČR v Ostravě vydalo nakladatelství Anagram, 2005. ISBN 80-7342-082-1.
2. DOPITA, M. *Geologie české části hornoslezské pánve*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1997. ISBN 80-7212-011-5.
3. CHLUPÁČ, I. a KOLEKTIV. *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0914-0.
4. OKD a DPB, A.S. *Metodický postup GM/05/REG - Regionální prognóza vzniku otřesů na dolech OKR*. Paskov: 2005, 34 s..
5. GREEN GAS DPB, A.S. Protokol o geomechanickém vyhodnocení vrtu. *Dokumentace jádrových vrtů na dole ČSM*. Paskov.
6. Česká geologická služba. *Geologická encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2015]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>
7. PIL 7 Point Load Tester. *Roctest | Geotechnical and Civil Engineering Measurement Systems for Precise Structural Health ...* [online]. [cit. 2015]. Dostupné z: <http://www.roctest.com/en/Products/Soil-Rock>
8. DEERE, D. U. a D. W. DEERE. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1988.
9. DEERE, D. U. a D. W. DEERE. *Rock quality designation (RQD) after twenty years*. Washington, DC: US Army Corps of Engineers, 1989.
10. MELOUN, M. a J. MILITKÝ. *Statistické zpracování experimentálních dat*. Praha: Plus publishing, 1994, 839 s..
11. PEŠEK, J. a M. SIVEK. *Uhlonosné pánve a ložiska černého a hnědého uhlí České republiky*. Praha: Česká geologická služba, 2012. ISBN 978-80-7075-800-7.

8. Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Územní členění ČHP [2]..... | 11 |
| Obrázek 2: Litostratigrafické členění karbonu hornoslezské uhelné pánve [2], upraveno | 13 |
| Obrázek 3: Stratigrafické schéma karbonu hornoslezské pánve [3] | 14 |
| Obrázek 4: Výskyt porubských vrstev v ČHP [1]..... | 16 |
| Obrázek 5: Vývoj porubských vrstev v karvinské a frenštátské oblasti [2] | 17 |
| Obrázek 6: Příklad fotodokumentace jádra vrtu ČSM-1319/09 z oblasti efektivního nadloží slojí 461+463 [5] | 22 |
| Obrázek 7: Příklad protokolu geomechanického vyhodnocení vrtu ČSM-1319/09 [5]..... | 22 |
| Obrázek 8: Příklad protokolu kusovitosti jádra vrtu ČSM-1319/09 [5]..... | 23 |
| Obrázek 9: Příklad protokolu stanovených pevností vrtu ČSM-1319/09 [5]..... | 23 |
| Obrázek 10: Příklad protokolu geomechanického vyhodnocení vrtného jádra vrtu ČSM-1319/09 [5] | 24 |
| Obrázek 11: Příklad geologického profilu vrtu ČSM-1319/09 [5] | 24 |
| Obrázek 12: Popis polního lisu [7], upraveno | 30 |
| Obrázek 13: Schéma stanovení hranic poloh o stejné redukované pevnosti [4] | 31 |
| Obrázek 14: Závislost koeficientu snížení pevnosti na koeficientu celistvosti [4] | 32 |
| Obrázek 15: Efektivní a vyšší nadloží [4] | 35 |
| Obrázek 16: Znázornění principu výpočtu RQD [8], upraveno | 36 |
| Obrázek 17: Srovnání redukovaných pevností u vrtu č. 1427/14 | 39 |
| Obrázek 18: Srovnání průměrných redukovaných pevností | 40 |
| Obrázek 19: Histogram hodnot koeficient k_{op} pro pískovec | 41 |
| Obrázek 20: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu k_{op} pro pískovec..... | 42 |
| Obrázek 21: Histogram hodnot koeficientu RQD pro pískovec | 42 |
| Obrázek 22: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu RQD pro pískovec..... | 43 |
| Obrázek 23: Histogram hodnot koeficientu k_{op} pro pískovec transformovaných pomocí Box-Cox transformace | 44 |
| Obrázek 24: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu k_{op} pro pískovec pomocí Box-Cox transformace | 45 |
| Obrázek 25: Histogram transformovaných hodnot koeficientu RQD pro pískovec pomocí mocninné transformace | 45 |
| Obrázek 26: Pravděpodobnostní graf normálního rozdělení hodnot koeficientu RQD pro pískovec pomocí mocninné transformace | 46 |
| Obrázek 27: Graf závislosti transformovaných koeficientů k_{op} a RQD | 47 |

9. Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Uhlonosnost porubských vrstev [1] | 18 |
| Tabulka 2: Souhrn analyzovaných vrtů | 21 |
| Tabulka 3: Přehled zaznamenaných horninových typů | 25 |
| Tabulka 4: Stupnice a názvosloví klastických sedimentů [6], upraveno | 26 |
| Tabulka 5: Průměrné pevnosti v tlaku jednotlivých litologických typů hornin v OKR [4] | 28 |
| Tabulka 6: Stanovení normované délky [4] | 33 |
| Tabulka 7: Dělení kvality horniny dle RQD [9] | 37 |
| Tabulka 8: Srovnání převzatých a vypočtených hodnot průměrných redukovaných pevností | 38 |

10. Seznam rovnic

| | | |
|------|--|----|
| (1) | Výpočet redukované pevnosti | 31 |
| (2) | Základní výpočet koeficientu oslabení | 32 |
| (3) | Upravený výpočet koeficientu oslabení | 32 |
| (4) | Výpočet průměrné délky úlomků jádra | 33 |
| (5) | Výpočet koeficientu celistvosti | 33 |
| (6) | Výpočet průměrné redukované pevnosti | 33 |
| (7) | Výpočet efektivní výšky nadloží | 34 |
| (8) | Upravený výpočet efektivní výšky nadloží | 34 |
| (9) | Výpočet efektivní výšky podloží | 34 |
| (10) | Výpočet efektivní výšky podloží | 34 |
| (11) | Výpočet parametru RQD | 36 |